

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**

ESCUELA DE POSGRADO

**Densidad y diversidad de nematodos fitoparásitos y de suelo en sistemas
orgánicos y convencionales de café en asocio con banano en el Valle Central
y Occidental de Costa Rica**

Por

María Emérita Chaves Gómez

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado
Como requisito para optar por el grado de

Magister Scientiae en Agricultura Ecológica

Turrialba, Costa Rica, 2014

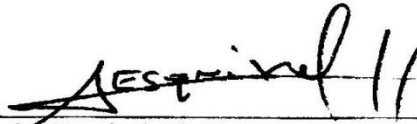
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y el Programa de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del estudiante, como requisito parcial para optar por el grado de

MAGISTER SCIENTIAE EN AGRICULTURA ECOLÓGICA

FIRMANTES:



Jaques Aveñino, Ph.D.
Codirector de tesis



Alejandro Esquivel, Ph.D.
Codirector de tesis

Howard Ferris, Ph.D.
Miembro Comité Consejero

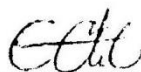
Charles Staver, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Gabriela Soto, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Thomas Dormody, Ph.D. / Francisco Jiménez, Dr. Sc.
Decano / Vicedecano de la Escuela de Posgrado



María Emérita Chaves Gómez
Candidata

DEDICATORIA

Le dedico este trabajo a mis padres: Juanita Gómez Castro y Luis Fernando Chaves Vega. Ellos me enseñaron a trabajar con dedicación y amor, así que esta tesis se debe en mucho a su esfuerzo, los amo papi y mami.

A mi nueva inspiración que está creciendo ahora en mi vientre, todavía no he visto tu carita pero te amo muchísimo igual que tu papi y estás en la cima de nuestras prioridades.

A mi compañero y amigo Missael de Jesús Rocha (QEPD): Esta tesis considérala como si fuera tu trabajo y el fruto de todos los esfuerzos que realizaste. Tu luz ahora ilumina otro lugar y mientras tanto en este mundo seguimos algunos luchando por los mismos sueños.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia: mi papá, mi mamá, mis hermanos Julio, Gabi y Arnoldo, mi cuñado Sidney y mis sobrinitas hermosas Fátima y Pilarcita. Por su comprensión, apoyo y amor.

A mi comité de tesis: Jacques, Alejandro, Howard, Gabriela y Charles. Por dedicar parte de su tiempo a guiarme en este proceso.

A los señores de las fincas: A Don Gerardo, su esposa e hijos de la finca El Toledo. A Juan y a los señores dueños de la finca Rosa Blanca. A Don Honorio Quesada y su familia. Gracias por toda la ayuda que me dieron.

Al personal del laboratorio de nematología de la UNA: Walter y Tatiana. Me dieron una ayuda inmensa en el proceso de muestras.

A Fernando Casanoves por su ayuda con los análisis estadísticos.

A Bioversity International por su apoyo económico a esta tesis.

A la Universidad Nacional de Costa Rica por permitirme el uso de sus instalaciones y equipos para la evaluación de las muestras.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 Objetivos e hipótesis	2
1.2.1 Objetivo general.....	2
1.2.2 Objetivos específicos	2
1.3 Hipótesis.....	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Nematodos fitoparásitos del cultivo de café	3
2.1.1 <i>Meloidogyne</i> Goeldi, 1892.....	3
2.1.2 <i>Pratylenchus</i> Filipjev, 1936.....	8
2.2 Nematodos fitoparásitos del cultivo de banano	11
2.2.1 <i>Helicotylenchus</i> Steiner 1945	11
2.3 Nematodos de suelo	12
2.3.1 Funciones de los nematodos en el suelo	12
2.3.2 Uso de los nematodos como bioindicadores.....	12
2.3.3 Efecto del tipo de manejo agronómico sobre la población de nematodos de suelo	13
3. ARTÍCULO I.....	18
3.1 Introducción	19
3.2 Materiales y Métodos.....	20
3.2.1 Descripción del área de estudio	20
3.2.2 Sistemas de cultivo	20
3.2.3 Número y delimitación de parcelas	21
3.2.4 Determinación de la densidad y diversidad de nematodos fitoparásitos de café y banano	22
3.2.5 Análisis de datos de nematodos fitoparásitos	23
3.2.6 Relación entre la densidad de nematodos fitoparásitos de café y variables agroecológicas	24
3.3 Resultados y Discusión	27
3.3.1 Diversidad y densidad de nematodos fitoparásitos en el cultivo de café.....	27
3.3.2 Densidad y diversidad de nematodos fitoparásitos en el cultivo de banano asociado al café.....	30
3.3.3 Relación entre la densidad de nematodos fitoparásitos de café y variables agroecológicas	31

4. ARTICULO II	43
4.1 Introducción	44
4.2 Materiales y métodos	45
4.2.1 Descripción del área de estudio	45
4.2.2 Sistemas de cultivo	45
4.2.3 Número y delimitación de parcelas	46
4.2.4 Determinación de la densidad y diversidad de nematodos de suelo	46
4.2.4.3 Índices de la comunidad de nematodos	47
4.2.5 Relación entre índices ecológicos de nematodos de suelo, nematodos fitoparásitos en raíces de café y manejo del cultivo	48
4.3 Resultados y Discusión	50
4.3.1 Densidad y diversidad de nematodos de suelo	50
4.3.1 Índices ecológicos de los nematodos	54
4.3.2 Relación entre índices ecológicos de nematodos de suelo, nematodos fitoparásitos en raíces de café y manejo del cultivo	55
4.4 Conclusiones y recomendaciones	60
5. IMPLICACIONES PARA EL DESARROLLO	63
5.1 Introducción	63
5.2 Generalidades del enfoque de medios de vida sostenibles.....	63
5.3 Reflexión sobre las implicaciones para el desarrollo del trabajo realizado	63
6. ANEXOS	65

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Lluvia y altitud de las localidades donde se realizó el estudio	20
Cuadro 2 Número de parcelas por localidad y sistema de cultivo	21
Cuadro 3. Lista de variables descritas en las parcelas	25
Cuadro 4 Densidad poblacional de <i>Meloidogyne</i> spp. en 10 gr de raíz de café por sistema de cultivo y localidad.....	28
Cuadro 5 Densidad poblacional de <i>Pratylenchus</i> sp. en 10 gr de raíz de café por sistema de cultivo y localidad.....	29
Cuadro 6 Densidad poblacional de <i>Helicotylenchus</i> sp en 10 gr de raíz de café por sistema de cultivo y localidad.....	30
Cuadro 7 Densidad poblacional de <i>Helicotylenchus</i> sp. en 10 gr de raíz de banano por sistema de cultivo y localidad.....	31
Cuadro 8 Densidad poblacional de <i>Meloidogyne</i> spp. en 10 gr de raíz de banano por sistema de cultivo y localidad	31
Cuadro 9 Categorización de variables y resultados de la prueba X^2 de independencia realizada entre las categorías de <i>Pratylenchus</i> y <i>Meloidogyne</i> y las variables agroecológicas.....	32
Cuadro 10 Acumulado de lluvia y altitud media de las localidades estudiadas	45
Cuadro 11 Número de parcelas por localidad y sistema de cultivo	46
Cuadro 12 Lista de variables descritas en las parcelas	49
Cuadro 13 Media de densidad poblacional de nematodos de suelo por tipo de sistema	51
Cuadro 14 Familias y número de especímenes identificados por tipo de sistema. Se incluye el grupo trófico	52
Cuadro 15 Índices ecológicos (medias) para los sistemas de cultivo	55
Cuadro 16 Categorías de nematodos fitoparásitos en raíces de café y variables de manejo de cultivo. Se incluye prueba X^2 de independencia realizada con las categorías de índices ecológicos de nematodos de suelo ^a	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama del ciclo de vida de <i>Meloidogyne</i> spp.....	5
Figura 2. Ilustración de un punto de muestreo en café, se indica ubicación del cuadrante de donde se tomó la submuestra	22
Figura 3. Ilustración del punto de muestreo de banano, se indica ubicación del cuadrante de toma de submuestra	23
Figura 4. Representación gráfica de los primeros dos ejes del análisis de correspondencia realizado de tablas de contingencia donde el ambiente (A), suelo (B), características de especies asociadas al cultivo (C), manejo de la plantación (D) y características de la plantación (E) están filas y las categorías de nematodos están en columnas. Categorías de <i>Meloidogyne</i> sp.: Mel1 (0 – 496), Mel2 (496 – 1872), Mel 3 (1872 – 14260). Categorías de <i>Pratylenchus</i> spp.: Praty1 (0 – 30), Praty2 (30 – 120), Praty3 (120 – 1032). Densidades expresadas por 10 g de raíces de café. Solo las categorías de variables más relacionadas son representadas. Porcentajes indican la proporción de la inercia explicada en cada eje. Observar cuadro 9 para la explicación de códigos de categorías.	37
Figura 5 Representación gráfica de los primeros dos ejes del análisis de correspondencia realizado de tablas de contingencia donde variables de manejo del cultivo y nematodos fitoparásitos de en raíces de café están en filas y las categorías de nematodos de suelo están en columnas. Solo las categorías de variables más relacionadas son representadas. Observar cuadro 12 para la explicación de los códigos y cuadro 16 para explicación de las categorías .	58
Figura 6 Diseños perineales de <i>Meloidogyne</i> spp. en el cultivo de banano.....	65
Figura 7 Diseños perineales de <i>Meloidogyne</i> spp. en el cultivo de café	66
Figura 8 PCR de individuos de <i>Meloidogyne</i> spp. extraídos de raíces de café y banano, gel al 1%, 90V	67

LISTA DE ACRÓNIMOS

CATIE: Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza

UNA: Universidad Nacional de Costa Rica

ICAFE: Instituto del Café de Costa Rica

RESUMEN

Los nematodos proveen servicios claves en el suelo, como lo son la supresión de patógenos de plantas y el mantenimiento de la fertilidad. Son buenos indicadores de la estructura y función de la fauna del suelo y a partir de su estudio se puede inferir el estado de la cadena alimenticia. Por otra parte, los nematodos fitoparásitos causan grandes pérdidas en los cultivos de café y banano. En Costa Rica, es común encontrar gran diversidad de sistemas de cultivo de café, con diferencias en el manejo de la sombra y de la intensidad de aplicaciones de plaguicidas. El uso de banano como sombra de café es una práctica común. Sin embargo, se conoce poco sobre el efecto del tipo de sistema sobre las poblaciones de nematodos de suelo y fitoparásitos. Además, es posible que las poblaciones de nematodos sean el resultado de múltiples factores agroecológicos que han sido poco estudiados. Este trabajo se realizó con la finalidad de evaluar la densidad y diversidad de nematodos de suelo y fitoparásitos en raíces de café y banano de diferentes tipos de sistemas de cultivo de café y las relaciones existentes con variables agroecológicas. En el Valle Central y Valle Occidental de Costa Rica se estableció un total de sesenta parcelas comerciales de café de diferentes sistemas: pleno sol (PS), convencional con (SB) o sin banano (SS), orgánico con (OB) o sin banano (OS). Se obtuvieron conteos de nematodos fitoparásitos en raíces (café y banano), conteos de nematodos de suelo y características agroecológicas. Se calculó la densidad de nematodos fitoparásitos en raíces y la densidad de nematodos de suelo, se clasificó la fauna de nematodos de suelo en grupos tróficos y se obtuvieron índices ecológicos como el índice de enriquecimiento (EI), índice de estructura (SI), índice basal (BI) e índice de canal (ChI). Las medias de nematodos (fitoparásitos y suelo) fueron comparadas entre sistemas de cultivo por pruebas LSD. Las relaciones entre fitoparásitos en raíces de café y características agroecológicas se analizaron por medio de tablas de contingencia, pruebas de Chi-cuadrado y análisis de correspondencia. Las relaciones entre nematodos de suelo, fitoparásitos en raíces de café y características de manejo de cultivo se analizaron de la misma forma. No se encontró una relación clara entre los tipos de sistema de cultivo y las densidad y diversidad poblacional de nematodos fitoparásitos de café y banano, con la excepción de la mayor abundancia de *Helicotylechus* sp. encontrada en raíces de café provenientes de parcelas en las que había banano asociado. En el caso de *Meloidogyne* la variable que se relacionó claramente con su mayor abundancia fue el menor porcentaje de sombra en el cafetal (0 a 59.7 %). La mayor densidad poblacional de *Pratylenchus* se encontró asociada con mayor cantidad de lluvia (1248 mm), mayor altitud (1175 m), mayor porcentaje de arena (40 a 52 %) y menor porcentaje arcilla (10 – 26.6 %). La densidad total de nematodos de suelo no se diferenció claramente entre sistemas de cultivo. La diversidad de nematodos de suelo si difirió entre sistemas de cultivo. Los bacteriófagos fueron más abundantes en sistemas orgánicos. Los omnívoros fueron menos abundantes en el sistema pleno sol. Los índices ecológicos de nematodos se asociaron, principalmente, al manejo de las especies asociadas al cultivo de café. El mayor porcentaje de sombra (68.8 - 87.9) se asoció a mayor índice de enriquecimiento (76.5 - 97.5) y mayor índice de estructura (72.4 – 90). Ausencia de sombra (PS) se relacionó con mayor índice basal (40.8 - 70.6) y mayor índice de canal (31.7 – 100). La presencia de mayor número de plantas de banano en el cafetal (5 – 8 plantas/ parcela) se asoció a mayor

índice de enriquecimiento y de estructura. La aplicación de abonos orgánicos se relacionó con mayor índice de enriquecimiento (76.5 - 97.5). Se logró determinar que las densidades poblacionales de nematodos fitoparásitos del cultivo de café son el resultado de un efecto combinado de varios factores, principalmente de ambiente y clima, pero, sobresale la relación entre el mayor porcentaje de sombra con la menor abundancia de *Meloidogyne* spp. La fauna de nematodos de suelo es claramente afectada por el manejo de cultivo. Se puede inferir que la mayor provisión de sombra en el cultivo de café, la presencia de plantas asociadas (banano) y la aplicación de abonos orgánicos puede conducir a una mejor función de la cadena alimenticia del suelo y mejor mantenimiento de la fertilidad.

Palabras clave: *Meloidogyne* spp., *Pratylenchus* sp., banano, sombra, cadena trófica del suelo, nematodos de suelo, fertilizantes orgánicos.

ABSTRACT

Nematodes provide important services in soil, including suppression of such as plant-pathogenic species and contributions to soil fertility. They are useful indicators of the soil's ecosystem services and analysis of their faunal structure allows inference of the condition of the soil food web. Plant-parasitic nematodes cause substantial losses to coffee and banana crops. In Costa Rica, there is a great diversity of cropping systems with different usage of shade and intensity of pesticide applications. A common practice is to use banana plants for shade in coffee plantations. However, little is known about the effect of cropping systems on plant-parasitic nematode populations. It is probable that high population levels of plant-parasitic nematodes are the result of multiple agroecological factors that have not been studied in combination. The objective of the current investigation was to evaluate the connection with agroecological variables of the density and diversity of plant-parasitic nematodes in soil and roots of coffee and banana plants in different kinds of coffee cropping systems. In the Central and West Valleys of Costa Rica, sixty commercial coffee plantations were selected that represented the following conditions: full sun (PS), conventional practices with (SB) or without banana (SS), and organic practices with (OB) or without banana (OS). Besides the agroecological characteristics of each plantation, densities and diversity of nematodes in soil and in roots of banana and coffee plants were determined. The soil nematode fauna was classified into trophic groups and ecological indices were calculated as indicators of enrichment (EI), structure (SI) basal conditions (BI) and the predominant decomposition channel (ChI). Nematodes assemblages among cropping systems were compared by LSD tests. Relations in between plant-parasitic nematodes in coffee roots and agroecological characteristics were analyzed by contingency tables, Chi - square tests, and analysis of correspondence. Associations between, free-living soil nematodes, plant-parasitic nematodes in coffee roots and crop management practices were analyzed by the same methods. There was no clear relationship between types of cropping system and population densities and diversity of plant-parasitic nematodes of coffee and bananas, except that there was greater abundance of *Helicotylechus* sp. in coffee roots from plots where there were banana plants. There was

greater abundance of *Meloidogyne* spp where there was the lowest percentage of shade (0 to 59.7 %). The greatest *Pratylenchus* sp population density was clearly associated with higher rainfall (1248 mm), high altitude (1175 m), higher sand percentage (40 - 52 %) and lower clay percentage (10 - 26.6 %). Total of soil nematodes did not clearly differ among cropping systems. Diversity of soil nematodes certainly differed between cropping systems. Bacteriovores were more abundant in organic systems. Omnivores were less abundant in the full sun system. Nematode ecological indices were associated mainly with management practices associated with coffee systems. Higher values of the enrichment index (76.5 - 97.5) and structure index (72.4 - 90) were associated with higher percentage of shade (68.8 - 87.9). Higher basal index (40.8 - 70.6) and higher channel index (31.7 - 100) were associated with absence of shade (PS). Presence of a larger number of banana plants in coffee plantation (5-8 plants / plot) was associated with higher values of the enrichment and structure indices. The highest values of the enrichment index (76.5 - 97.5) were associated with application of organic fertilizers. The population densities of plant-parasitic nematodes in coffee plantations are the result of a combination of several factors, mainly environmental and climatic. The soil nematode fauna is clearly affected by crops management. It is inferred that greater levels of shade in coffee, the presence of associated plants (banana) and the application of organic fertilizers contribute to better function of the soil food web, higher soil fertility and greater soil quality.

Key words: *Meloidogyne* spp., *Pratylenchus* sp., banana, shade, soil food web soil, nematodes, organic fertilizers.

1. INTRODUCCIÓN

Los nematodos son muy abundantes y cumplen importantes funciones en el suelo; son acuáticos, aún aquellos que viven en ambientes terrestres dependen del agua que está entre las partículas del suelo. Estos organismos son los metazoos más abundantes del planeta (Bongers y Ferris 1999) y unos de los más diversos (Coyne 2000). Entre sus principales funciones están la conservación de la fertilidad del suelo mediante la movilización y uso de nutrientes (Procter 1990), así como la regulación de poblaciones de patógenos de plantas.

Sin embargo, la diversidad y densidad de nematodos de suelo puede ser afectada por el manejo del cultivo. En general las poblaciones decrecen por la aplicación de plaguicidas (Sánchez-Moreno y Ferris 2007; Timper *et al.* 2012). La aplicación de abonos orgánicos incrementa la abundancia total de nematodos de suelo (Liang *et al.* 2009). Algunos grupos específicos como los bacteriófagos aumentan con la aplicación de abonos orgánicos, pero disminuyen con la aplicación de fertilizantes inorgánicos (Li *et al.* 2010).

A pesar de que existen nematodos que cumplen funciones benéficas en los agroecosistemas; también, se encuentran nematodos fitoparásitos que causan daños a muchos cultivos, entre ellos al café y al banano. Las especies de nematodos que más afectan al cultivo de café son *Meloidogyne* spp. y *Pratylenchus* spp. (Villain *et al.* 1999). En el mundo, las pérdidas causadas por los nematodos en el cultivo de café se estiman en 15% (Campos y Villain 2005). Además, las variedades de *Coffea arabica* sembradas en Centroamérica son muy sensibles a los nematodos fitoparásitos que se encuentran en la región (Villain *et al.* 1999). En el cultivo de banano, después de las lesiones foliares causadas por la Sigatoka negra y amarilla, los nematodos fitoparásitos son los organismos que causan mayor daño al cultivo (Araya 2004). En el cultivo de banano las especies más importantes son *Radopholus similis* (Cobb) Thorne, *Pratylenchus coffeae* Sher y Allen y *Helicotylenchus multicinctus* (Cobb) Golden; estos nematodos pueden causar infección simultanea de las raíces de banano (Gowen *et al.* 2005; Moens *et al.* 2006; Guzmán-Piedrahita 2011a).

Por otra parte, en Costa Rica, se pueden encontrar sistemas de cultivo de café con o sin sombra y con menor o mayor uso de insumos. Se utilizan diferentes especies de sombra, pero, el uso de banano asociado al cultivo de café es una práctica común. Existe controversia sobre las ventajas y desventajas de los diferentes sistemas de cultivo, incluso no se tiene claro el efecto sobre los nematodos. Las ventajas y desventajas de los tipos de sistemas son discutidas por varios autores (Beer *et al.* 1998; Siles *et al.* 2010; Hagggar *et al.* 2011). Generalmente, se ha encontrado que la sombra tiene un efecto buffer sobre temperaturas extremas, favorece el uso más eficiente de agua, pero el rendimiento de cultivo es menor; sin embargo, todo depende del tipo de sombra y del manejo que se realice. También debe de considerarse que los altos costos de insumos agrícolas y los precios variables y tendientes a la baja del café inducen a los agricultores a usar menos insumos y más sombra en sus cultivos.

Con respecto al efecto del tipo de sistema sobre los nematodos fitoparásitos en café, existe poca información; pero los datos encontrados sugieren que en los sistemas convencionales se

encuentran mayores poblaciones. Carcache (2002) encontró mayor población de nematodos fitoparásitos en café convencional comparado con orgánico. Herrera (2011) determinó mayor densidad de *Meloidogyne* en café convencional con o sin sombra en comparación con café orgánico con sombra, pero se estudiaron los nematodos en suelo y no en raíces. Según Villain *et al* (1999) el uso de monocultivos por muchos años, sin ningún tipo de rotación podría favorecer el desarrollo de poblaciones de nematodos fitoparásitos muy adaptadas a esas condiciones; la intensificación del cultivo, que consiste en disminuir la sombra de otros árboles o plantas y aumentar la aplicación de plaguicidas podría ocasionar la pérdida del equilibrio en la fauna del suelo y por tanto, un aumento en la población de nematodos fitoparásitos.

Específicamente, acerca del efecto sobre las poblaciones de nematodos del asocio de café con banano, se tiene poca información. En Nicaragua, algunos agricultores asociaron el uso de sombra de banano con mayor población de nematodos. García (2012) realizó un estudio en esa localidad, sin embargo, no determinó un incremento en las poblaciones de nematodos al tener banano asociado. Avelino *et al.* (2009) determinaron relación entre altas poblaciones de *M. exigua* y la presencia de plantas de banano en el cultivo de café. Estos autores sugirieron que los bananos, sembrados en fincas de café, son posibles fuentes de dispersión de los nematodos, cuando vienen con suelo contaminado de otras fincas cafetaleras.

No obstante, el tipo de manejo no es el único factor que podría relacionarse con la población de nematodos fitoparásitos del café. La densidad y diversidad de plagas pueden ser el resultado de múltiples factores. Esto es explicado por Zadocks y Schein (1979) en lo que se conoce como el tetraedro de la enfermedad. En este enfoque se describe como las enfermedades se relacionan con variables ambientales, de manejo del cultivo y características propias del patógeno. En el caso específico de nematodos se encuentran pocos trabajos que estudien de manera holística factores que pudieran afectar a estos organismos (Avelino *et al.* 2009; Duyck *et al.* 2012). Sin embargo, en estos estudios se ha comprobado que factores como las características químicas y físicas de suelo, la pluviosidad y prácticas agrícolas tienen efecto sobre la población de nematodos fitoparásitos y a la vez las variables se relacionan entre sí.

1.2 Objetivos e hipótesis

1.2.1 Objetivo general

Evaluar la densidad y diversidad de nematodos de suelo y fitoparásitos en raíces de café y banano de diferentes tipos de sistemas de cultivo y las relaciones existentes con variables agroecológicas.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar la densidad y diversidad de nematodos fitoparásitos de café y banano en sistemas agroforestales (pleno sol, orgánico con o sin banano, convencional con o sin banano) y distinguir las relaciones existentes entre variables agroecológicas y la densidad de nematodos fitoparásitos del cultivo de café.

- Determinar la densidad y diversidad de nematodos de suelo en diferentes sistemas de cultivo de café y calcular los índices ecológicos de la fauna de nematodos para inferir el estado de la cadena alimenticia del suelo en cada sistema.

1.3 Hipótesis

- Hipótesis 1: La densidad de nematodos fitoparásitos en el cultivo de café y banano difiere según el tipo de sistemas agroforestal, siendo menor en los sistemas orgánicos.
- Hipótesis 2: La diversidad taxonómica de nematodos de suelo difiere según el tipo de sistemas agroforestal de café, siendo mayor la diversidad en los sistemas orgánicos.
- Hipótesis 3: La densidad y diversidad de nematodos fitoparásitos del cultivo de café es el resultado del efecto combinado de variables agroecológicas.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Nematodos fitoparásitos del cultivo de café

Los géneros de nematodos fitoparásitos que más afectan al cultivo de café son *Meloidogyne* y *Pratylenchus*. A continuación, se presenta la revisión de literatura acerca de aspectos fundamentales de estos dos géneros.

2.1.1 *Meloidogyne* Goeldi, 1892

2.1.1.1 Especies importantes de *Meloidogyne*

Varias especies de *Meloidogyne* (nematodos agalladores como son también llamados) se asocian con el cultivo de café. Los nematodos agalladores más conocidos y comunes en café son: *M. exigua* (Goeldi, 1892), *M. incognita* (Kofoid y White, 1919 (Chitwood, 1949), *M. coffeicola* (Lordello y Zamith, 1960) y *M. paranaensis* (Carneiro, Carneiro, Abrantes, Santos & Almeida, 1996). Existen otras especies con distribución menos extensa a nivel mundial, *M. africana* (Whitehead, 1960), *M. decalineata* (Whitehead, 1958), *M. megadora* (Whitehead, 1958), *M. hapla* (Chitwood, 1949), *M. kikuyensis* (De Gisse, 1961), *M. inornata* (Lordello, 1956), *M. javanica* (Treub, 1885), *M. oteifae* (Elmiligy, 1968), *M. arenaria* (Neal, 1889; Chitwood, 1949), *M. thamesi* = *Meloidogyne arenaria thamesi* (Chitwood en Chitwood, Specht y Havis, 1952), *M. arabicida* (López y Salazar, 1989), *M. konaensis* (Eisenback, Bernard y Schmitt, 1995) y *M. mayaguensis* (Rammah y Hirschmann, 1988). En Costa Rica, *M. exigua* es la especie predominante en raíces de café (Salas y Echandi 1961).

2.1.1.2 Diagnosis

Las hembras son sedentarias, tienen forma de pera o esferoide, de color blanco. El estado de quiste no está presente. El largo de las hembras es de entre 350 µm a 3 mm y el ancho de 300 a 700 µm. La estructura cefálica generalmente es débil o está ausente. Tienen seis labios, los labios del medio están fusionados en pares, el estilete es delicado y largo y con tres nódulos. El poro excretor es localizado usualmente entre los nódulos del estilete y el metacorpus. El metacorpus es relativamente largo y conectado posteriormente con las glándulas faringales. La parte basal del esófago está conformada por una glándula dorsal y dos glándulas

subventrales y se superponen al intestino. Las gónadas son pares y prodélficas. El patrón perineal es más o menos circular alrededor de la vulva y el ano, y tradicionalmente este carácter morfológico se ha utilizado para la identificación de especies. Los huevos no son retenidos dentro del cuerpo, se depositan en una sustancia gelatinosa segregada por las glándulas rectales. Las hembras son generalmente endoparásitos, inducen la formación de agallas en las raíces de las plantas hospederas (Karssen y Moens 2006).

Los machos no son sedentarios, son vermiformes, su longitud (700 – 2000 μm) varía de acuerdo con las condiciones climáticas. La estructura cefálica y el estilete recto están bien desarrollados. La cola es redonda y muy corta y sin bursa, con poca variación entre especies (Karssen y Moens 2006).

Los juveniles en segundo estado de desarrollo (J2), son infectivos, varían en tamaño según la especie (290 – 912 μm) (Carneiro y Cofcewicz 2008), El tamaño de los juveniles de *M. hapla* puede variar con el clima, siendo más grandes en verano que en invierno (Handoo *et al.* 2005). Son vermiformes. La región cefálica es similar a la de los adultos pero, mucho más pequeña y sin estructura cefálica esclerotizada. El estilete es delicado y recto. La cola se estrecha hacia la punta y termina en una parte hialina (Karssen y Moens 2006).

El tercer (J3) y cuarto (J4) estadio son sedentarios, están hinchados dentro de las raíces. No tienen estilete (Karssen y Moens 2006).

La caracterización morfológica es importante para la identificación de especies, pero, debe ser complementada con estudios genéticos. Carneiro *et al* (2004) indican que el patrón perineal es poco fiable para la identificación de especies de *Meloidogyne*, cuando no se complementa con características enzimáticas. Estos autores también mencionan que los machos son importantes para confirmar el diagnóstico de algunas especies, *M. paranaensis*, *M. konaensis* y *M. incognita*.

2.1.1.3 Ciclo de vida y biología

El ciclo de vida básico de los nematodos agalladores inicia con la postura de una masa de huevos que usualmente es colocada interna o externamente de las raíces. La primera muda ocurre dentro del huevo, una vez eclosionados los J2 infectan rápidamente las raíces de plantas susceptibles, comienzan a alimentarse en la zona de diferenciación de la raíz y ocurren las mudas y desarrollos a J3 y J4, estos estados no son infectivos. Posteriormente se convierten en adultos. Las hembras adultas en forma de pera se mantienen dentro de la raíz y los machos adultos abandonan las raíces y no son infectivos (figura 1) (Luc *et al.* 2005; Souza y Bressan-Smith 2008).

Existe muy poca información acerca del ciclo de vida en el cultivo de café para muchas de las especies de *Meloidogyne*. Alguna información existe de *M. konaensis*, *M. exigua* y *M. incognita*. Con respecto a *M. konaensis*, Zhang y Schmitt (1995) consideraron que 24 °C es la temperatura ideal para el desarrollo embrionario; la embriogénesis no ocurre a los 5 °C y decrece por encima de los 35 °C. Todos los huevos de esta especie mueren después de dos días

a 40 °C. El desarrollo de J2 a adulto en plantas de café (*C. arabica* L., var Guatemala) mantenidas en invernadero tardó 38 y 48 días a 30 y 26 °C respectivamente. Lima y Ferraz (1985) citados por Souza y Bressan-Smith (2008) estudiaron el desarrollo de *M. exigua* inoculado en plántulas de “Mundo Novo” y encontraron que a una temperatura constante de 28 °C el ciclo de vida de este nematodo tarde entre 32 – 42 días. Según Tronconi *et al* (1986) la reproducción de *M. exigua* es elevada entre los 20 – 24 °C. En *M. incognita* Jaehn (1991) determinó que un rango de temperatura entre 28 y 32 °C es ideal para las razas uno, dos y cuatro. El autor concluyó que el mínimo de temperatura para el desarrollo de *M. incognita* es 10 °C.

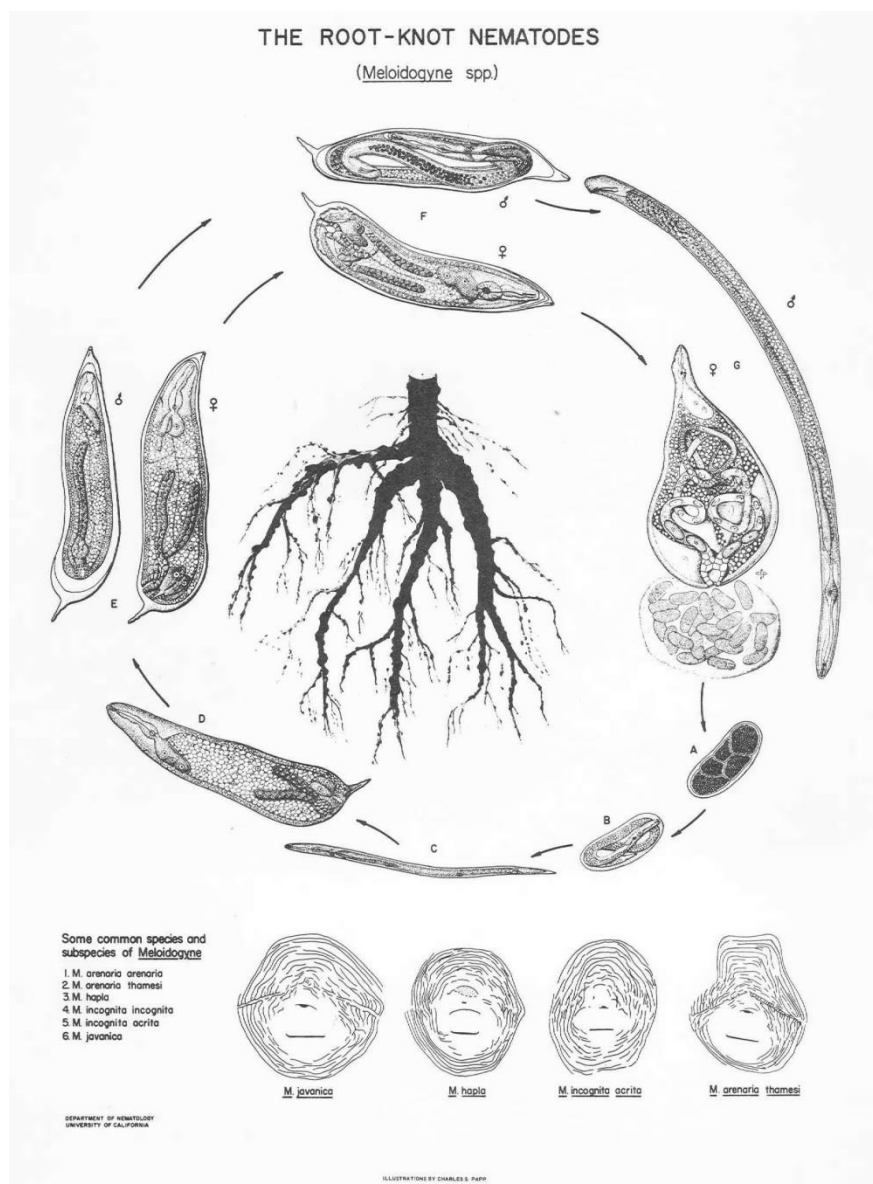


Ilustración de Charles Papp

Figura 1 Diagrama del ciclo de vida de *Meloidogyne* spp

La reproducción de los nemátodos agalladores puede ser de tres formas: (1) anfimixica, (2) automixica y (3) apomixica. Solamente unas cuantas especies de *Meloidogyne* se produce por anfimixis, con la fusión obligada de gametos masculinos y femeninos. La mayoría de este tipo de nematodos se reproduce por partenogénesis, ya sea automixica o apomixica. La reproducción apomixica ocurre por la división mitótica de los oocitos. En la reproducción automixica se presenta la división meiotica. La mayoría de especies que se reproducen por anfimixis y automixis son diploides con 18 cromosomas haploides. Las especies apomixicas son poliploides o aneuploides. *M. exigua* es automixico y *M. incognita* es apomixico (Karssen y Moens 2006).

2.1.1.4 Daños y lesiones en el cultivo

La alimentación de los juveniles produce cambios morfológicos y fisiológicos en las células del hospedante. La parasitación de los nematodos agalladores produce la formación de células gigantes (2 – 12), ubicadas radialmente a la cabeza de la hembra, estas células causan el colapso del sistema vascular de la raíz (Mendes *et al.* 1977). El tejido cercano al sitio de alimentación del nematodo se hipertrofia e hiperplasia, esto es lo que se conoce como agallas, la formación de agallas no es esencial para el desarrollo de los nematodos, porque en plantas no susceptibles pueden ingresar a las raíces y no producir células gigantes. (Karssen y Moens 2006). Mendes *et al* (1977) encontraron que los J2 de *M. exigua* penetran principalmente por el tejido meristemático y dentro de las raíces migran intra e intercelularmente. Durante el periodo de establecimiento de *M. exigua* en plantas de café susceptibles o no, los tejidos vegetales producen ácido fumárico, fórmico, mayores niveles de sucrosa y alcaloides. Todos estos productos se diferencian en su concentración y momento de ocurrencia según las plantas sean susceptibles o no (Machado *et al.* 2012).

Las pérdidas en rendimientos en el cultivo de café por causa de *Meloidogyne* spp. son en promedio 10 – 15%; pero, en determinadas condiciones puede ser hasta de 100% (Souza y Bressan-Smith 2008). Barbosa *et al* (2004) realizaron un estudio de las pérdidas en rendimiento causadas por *M. exigua* en Río de Janeiro, encontraron que en fincas con mayor uso de fertilizantes y plaguicidas había una alta correlación (R^2 : 0.98) entre la cantidad de J2 en el suelo y el rendimiento del cultivo. Las pérdidas fueron de alrededor del 30% en poblaciones de 40 J2/100 cc de suelo.

Los síntomas en las plantas de café parasitadas por *Meloidogyne* spp. incluyen: (1) disminución del crecimiento de la planta, acompañado de disminución en el crecimiento de las raíces; (2) deficiencias nutricionales en el follaje, especialmente síntomas de clorosis; (3) marchitez temporal, en periodos de estrés por agua, particularmente al medio día; (4) baja en rendimientos (Karssen y Moens 2006). *M. exigua* causa en plantas de cv “Mundo Novo” (*Coffea arabica* L.) disminución de la altura y materia seca; pero, en plantas de *C. canephora* cv Robusta (C2258) no causa estos síntomas. *M. incognita* raza 1, es capaz de causar disminuciones de altura y materia seca tanto en Mundo Novo como en C2258, sin embargo, en menor medida en este último cultivar (Gonçalves *et al.* 1996). Las plantas de café (*C. arabica*

cv típica Guatemala) infectadas con *M. konaensis* no asimilan igual los nutrientes que las plantas no infectadas (Hurchanik *et al.* 2004).

2.1.1.5 Relación con variables del ambiente y suelo en el cultivo de café

Las relaciones de *Meloidogyne* spp. con la altitud y la pluviosidad son descritas por Villain *et al.* (1999); según estos autores los nematodos agalladores son más frecuentes en bajas altitudes, 50% de las muestras positivas se encontraron por debajo de los 800 msnm y 80% de las muestras con *Meloidogyne* fueron ubicadas a pluviosidades mayores a los 2000 mm/año. Avelino *et al.* (2009) concuerdan en que *M. exigua* se encuentra principalmente a bajas altitudes. Pinochet *et al.* (1986) encontraron que la época del año donde hubo mayor cantidad de *Meloidogyne* asociado al cultivo de café, en Panamá, fue de marzo a mayo. La población decreció cuando las lluvias fueron mayores a 500 mm/mes, contrario a lo indicado por Villain *et al.* (1999). Con respecto a *M. exigua*, Souza *et al.* (2008) determinaron una clara fluctuación estacional. La población aumentó en los meses más secos y decreció en los meses más lluviosos. En cuanto al número de agallas/5 g de raíz se relacionó negativamente con la temperatura del aire y la lluvia.

Con respecto a la influencia de las características del suelo, varios autores coinciden en que el mayor porcentaje de arena se relaciona con una mayor población de *Meloidogyne* (Prot y Gundy 1981; Avelino *et al.* 2009; Fujimoto *et al.* 2010). En general, la movilidad de *M. incognita* es afectada por la estructura y la distribución de poros, este nematodo se mueve mejor en suelos arenosos que en andisoles (Fujimoto *et al.* 2010). *Meloidogyne exigua* se correlaciona negativamente con la humedad del suelo (Ferreira *et al.* 1987). *Meloidogyne incognita* puede resistir altos caudales de agua sin ser afectada su movilidad (Fujimoto *et al.* 2010).

2.1.1.6 Relación con el manejo agronómico en el cultivo de café

El manejo de cultivo también afecta las poblaciones de nematodos agalladores. Los monocultivos perennes pueden favorecer el desarrollo de nematodos mejor adaptados a esas condiciones; así como los árboles de sombra en los cafetales aportan materia orgánica que podría servir para dar mayor tolerancia al cultivo por el aporte a la fertilidad y el desarrollo de microorganismos antagonistas de los nematodos fitoparásitos (Villain *et al.* 1999). Herrera (2011) encontró, en un experimento realizado en Nicaragua, una alta población de *M. incognita* en poblaciones de café manejadas convencionalmente y sin sombra comparado con manejo orgánico.

Se ha comprobado que la adición de materia orgánica reduce las poblaciones de *M. incognita* en el cultivo de tomate (Abolusoro y Abolusoro 2012). Sin embargo, Janaina *et al.* (2011) indican que la parasitación de *M. javanica*, en verano, en el cultivo de tomate, aumentó al aplicar abonos orgánicos, turba, estiércol de vaca, lombricompost; pero, disminuyó al aplicar pulpa de café. Además, todos los abonos aumentaron la productividad del cultivo. Agu (2008) determinó que plantas de frijol cultivadas en suelo tratado con gallinaza rara vez presentaron agallas producidas por *M. incognita*, pero, el tratamiento con aserrín presentó agallas severas.

El manejo de rastrojos en la finca es importante. *M. exigua* logra sobrevivir hasta cinco meses después de eliminadas las raíces de café del campo (Almeida y Campos 1993). *M. incognita* tiene un comportamiento similar, puede sobrevivir hasta seis meses sin plantas hospedantes (Jaehn y Rebel 1984). Sin embargo, Oliveira et al (2009) demostraron que la población de *M. incognita* raza 1 y 2, patogénicas al café, mantenidas por dos años en cultivo de tomate, presentaron baja habilidad para parasitar el cultivo de café (*C. arabica* Catuaí Vermelho IAC 44).

La distancia de siembra del café se relaciona con las poblaciones de *Meloidogyne* (Avelino et al. 2009). Distancias pequeñas entre filas (0.9 m) se relacionan con altas poblaciones de este nematodo, posiblemente al estar las plantas más cerca hay mayor contacto entre las raíces, esto permite una mayor propagación de los nematodos. En Costa Rica, es común encontrar sistemas intensificados con altas densidades de siembra (Avelino et al. 2009).

Otras prácticas, como la poda drástica del café causa una disminución en la población de *M. exigua* (Barbosa 2008 citado por Souza y Bressan-Smith (2008), posiblemente por la muerte de raíces.

2.1.1.7 Especies de *Meloidogyne* fitoparásitos del café, asociadas al cultivo de banano

El asocio de café con banano es una práctica utilizada en Centroamérica, pero hace falta información del efecto sobre la población de nematodos fitoparásitos. García (2012) menciona que los agricultores de café de Nicaragua tienen incertidumbre acerca del efecto de la sombra del banano sobre el café, debido al posible aumento de nematodos fitoparásitos en el cultivo al tener banano asociado. Sin embargo, el estudio no permitió determinar un incremento en las poblaciones de nematodos fitoparásitos de café en asocio con banano. Avelino et al (2009) observaron mayor población de *Meloidogyne* en parcelas con banano asociado al café, relacionado, posiblemente, con el hecho que los bananos provenían de fincas cafetaleras contaminadas con el nematodo. Existen algunas especies de *Meloidogyne* comunes al café y al banano. En plantaciones comerciales de banano (*Musa* AAA), en Latinoamérica, se encuentran *Meloidogyne incognita* y raramente *M. javanica* (Araya 2004). Otras especies de *Meloidogyne* comúnmente asociadas al cultivo de banano y que son también fitoparásitos de café son *M. arenaria* y *M. hapla* (Luc et al. 2005). Sin embargo, no existe evidencia de que las mismas especies afecten simultáneamente plantas de café y banano asociadas.

2.1.2 *Pratylenchus* Filipjev, 1936

2.1.2.1 Principales especies

Las especies de *Pratylenchus* asociadas con café son: *P. brachyurus* (Godfrey, 1929) Filipjev y Schuurmans Stekhoven, 1941, *P. coffeae*, (Zimmermann, 1898) Filipjev y Schuurmans Stekhoven, 1941, *P. goodeyi* (Sher y Allen, 1953), *P. loosi* (Loof, 1960), *P. pratensis* (de Man, 1880) Filipjev, 1936, *P. vulvus* (Allen y Jensen, 1951), *P. zae* (Graham, 1951), *P. panamaensis* (Siddiqi, Dabur y Bajaj, 1991) = *P. gutierrezii* (Golden, López y Vilchez, 1992) (Campos y Villain 2005).

2.1.2.2 Diagnósis

Pratylenchus spp. son caracterizados como nematodos cilíndricos y pequeños (menos de 1 mm de longitud). No muestran dimorfismo sexual en la parte anterior. Su región encefálica es pequeña, aplanada y casi nunca redondeada, además tiene esclerotización masiva. El estilete es fuerte de 14 a 19 μ de largo, con nódulos basales masivos. El bulbo medio esferoide, con más de la mitad del ancho del cuello. El bulbo basal se extiende por encima del intestino, generalmente en posición lateral ventral. El poro excretor es prominente y opuesto al anillo nervioso. El intestino está lleno de numerosos gránulos oscuros. La gónada es prodélfica. La vulva tiene una hendidura transversal y la vagina se extiende ligeramente hacia adelante. Estos nematodos tienen espermateca. El ovario anterior es alargado y tiene oocitos acomodados en una sola fila excepto en la corta región de multiplicación. El útero posterior tiene ramificaciones rudimentarias y saco pos uterino. El recto es poco prominente y termina con el ano en forma de ranura.

Machos con bursa que envuelve la cola. Espícula levemente arqueada. Testículos extendidos con espermatoцитos acomodados irregularmente, especialmente en la región de multiplicación.

2.1.2.3 Ciclo de vida y biología

Todos los nematodos lesionadores son endoparásitos y migratorios. Algunas especies se reproducen por partenogénesis mitótica, como el caso de *P. brachyurus*; los machos aparecen pocas veces en este tipo de reproducción. Otras especies como *P. coffeae* son anfimitóticas, por esto son frecuentes los machos (Inomoto y Oliveira 2008).

El ciclo de vida del género *Pratylenchus* incluye huevos, cuatro estados juveniles y adultos. Los huevos son puestos solos en las raíces o en el suelo. La primera muda ocurre dentro del huevo. Todos los estados de desarrollo de *Pratylenchus* son infectivos. Lordello (1986) citado por (Inomoto y Oliveira 2008) observó el desarrollo a J1, J2, J3 y J4; 8, 14, 21 y 28 días después de colocados los huevos de *P. coffeae* en raíces de café. La temperatura óptima para reproducción de *P. coffeae* en *Citrus jambhiri* es entre 26 a 32 °C (Radewald *et al.* 1971). No se encuentran datos del ciclo de vida de *P. brachyurus* en el cultivo de café; sin embargo, se conoce que la temperatura es importante para la reproducción de este nematodo. *P. brachyurus* se vuelve inactivo por debajo de los 10 °C y por encima de los 30 °C. En maíz, la reproducción de *P. brachyurus* es inhibida a 5, 10 y 15 °C, pero mejora a 20 y 30 °C (Olowe y Corbett 1976).

2.1.2.4 Daños y lesiones en el cultivo

P. brachyurus y *P. coffeae* reducen la altura de plantas y la cantidad de raíces de *Coffea arabica* cv Mundo Novo; *P. brachyurus* también es capaz de reducir la altura y la masa de raíces de Catuaí (Inomotto *et al.* 1998). *P. coffeae* disminuye la fotosíntesis de plantas de café por defoliación (*C. arabica* var Mundo Novo) a partir de 1000 nematodos por planta (Kubo *et al.* 2003). Los daños de *P. coffeae* en *C. arabica* se expresan más rápidamente en las hojas, mediante una disminución de la fotosíntesis y en el transporte de nutrientes en el floema (Mazzafera *et al.* 2004). Las lesiones causadas por *P. coffeae* en *C. arabica* var Catimor en Vietnam son manchas necróticas evidentes en las raíces, clorosis de las hojas, fuerte reducción

del crecimiento de las raíces y de la planta en general, destrucción de las raíces laterales antes que las primarias (Trinh *et al.* 2010). Las pérdidas en rendimiento causadas por *P. coffeae* se estiman entre 29 y 78% (Villain 2008).

2.1.2.5 Relación con variables del ambiente y suelo en el cultivo de café

Existe poca información acerca del efecto de las características químicas y físicas del suelo sobre la población de *Pratylenchus*. Entre los pocos estudios realizados en este tema se encuentra el de Duyck *et al.* (2012), en el cultivo de banano, en el que encontraron que *P. coffeae* es abundante en ferrosoles, pero ausente en vertisoles y nitisoles, posiblemente debido a que este nematodo necesita que los poros del suelo tengan diámetros de entre 30 – 300 μm con películas de agua para moverse, situación que ocurre en los ferrosoles pero no en vertisoles. Por otra parte, Avelino *et al.* (2009) encontraron altas poblaciones de *P. coffeae* en el cultivo de café, en suelos con medio a alto contenido de Zn ($\geq 1.4 \text{ mg kg}^{-1}$).

La población de *P. coffeae* en el cultivo de banano en Martinica, decrece fuertemente con la disminución de la precipitación, según Duyck *et al.* (2012); a pesar de que *P. coffeae* puede sobrevivir en ausencia de agua (estado de anhidrobiosis) (Glazer y Orion 1983). Resultados similares encontraron Avelino *et al.* (2009) para *P. coffeae* en el cultivo de café en Costa Rica. Sin embargo, hay varios autores que coinciden en que la población de *P. coffeae* aumenta en la época seca y decrece en la estación lluviosa (Quénéhervé 1989; Inomotto *et al.* 1998). En Guatemala, el crecimiento vigoroso de las raíces y por lo tanto, el aumento de población de *P. coffeae* se presenta en los meses más secos (diciembre, enero y febrero) y en el inicio del invierno (junio y julio) (Villain *et al.* 1999). El fuerte decrecimiento en la población de nematodos en el final del invierno, posiblemente está asociado a la pudrición de raíces afectadas por otros patógenos (Inomoto y Oliveira 2008).

2.1.2.6 Relación con el manejo agronómico en el cultivo de café

La vía de diseminación más importante de *Pratylenchus* es mediante material contaminado, la producción de almácigo en suelos previamente infestados es la principal forma de diseminación del nematodo a largas distancias, esto debido a la gran capacidad de sobrevivencia que posee este nematodo (Inomoto y Oliveira 2008). Es necesario esperar de 10 a 11 meses después de eliminada la plantación infestada para obtener una disminución importante de la población de *P. coffeae* (Trinh *et al.* 2011).

Con respecto al manejo de sombra del cultivo de café, Herrera (2011) encontró una población de *Pratylenchus* spp. significativamente menor en cultivo de café orgánico asociado con especies arbóreas leguminosas (*Inga laurina* y *Samanea saman*), en comparación con café orgánico asociado con otras especies de árboles (*Tabebuia rosea* y *Simarouba glauca*).

Las poblaciones de *Pratylenchus* se relacionan con la distancia de siembra del cultivo de café, al igual que sucede con *Meloidogyne* (Avelino *et al.* 2009). Posiblemente la mayor cercanía entre raíces permite más contacto entre estas, favoreciendo la propagación de los nematodos.

2.2 Nematodos fitoparásitos del cultivo de banano

Después de las lesiones foliares causadas por la Sigatoka negra y amarilla (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet y *M. musicola* Leach, respectivamente) los nematodos fitoparásitos son los organismos que causan mayor disminución del crecimiento y del desarrollo de las plantas de banano por medio del daño que producen en las raíces y cormos (Araya 2004). En el cultivo de banano, las especies más importantes son *Radopholus similis* (Cobb) Thorne, *Pratylenchus coffeae* Sher y Allen y *Helicotylenchus multicinctus* (Cobb) Golden; estos nematodos pueden causar infección simultánea de las raíces de banano (Gowen *et al.* 2005; Moens *et al.* 2006; Guzmán-Piedrahita 2011a). A continuación se describe aspectos de *Helicotylenchus* que fue el nematodo más importante para el cultivo de banano en este trabajo.

2.2.1 *Helicotylenchus* Steiner 1945

2.2.1.1 Diagnósis

Las hembras: tienen cuerpo en forma de espiral cuando está relajado. El marco cefálico es fuertemente esclerotizado. El estilete es bien desarrollado. El bulbo medio es redondeado u ovalado. El poro excretor, usualmente, se ubica cerca de la unión del esófago con el intestino. Las glándulas del esófago tienen traslape dorso-ventral, con respecto al intestino. Tienen dos ovarios anfidelficos y espermateca. La cola es curvada dorsalmente.

Los machos: son abundantes solo en algunas especies. La bursa es corta y sin proyección visible. La espícula tiene la mitad distal estrechada con flanges ventrales pequeñas (Siddiqi 2000).

2.2.1.2 Biología

Generalmente, su hábito alimenticio es de ectoparásito, lo que significa que se alimenta y ubica en la parte externa del hospedante. Pero, algunas especies pueden comportarse como semi-endoparásitos, es decir mantienen la parte anterior del cuerpo dentro de la raíz y la parte posterior fuera. La mayoría de las especies se reproducen por partenogénesis mitótica, otros se reproducen por anfigenesis (Guzmán-Piedrahita 2011b).

El ciclo de vida tiene una duración de entre 26 a 34 días a 25 °C. *Helicotylenchus multicinctus* coloca los huevos en grupos de 8 a 26 en las células del tejido cortical decolorado. La primera muda ocurre dentro del huevo, la eclosión tarda de 9 a 12 días. Los siguientes estados (J2, J3 y J4) y los adultos son infectivos (Guzmán-Piedrahita 2011b).

2.2.1.3 Daños y lesiones en el cultivo

Helicotylenchus spp. produce lesiones pequeñas y longitudinales, en las células parenquimatosas del córtex de la raíz. Estas lesiones son poco profundas y de color castaño o de rojizo a negro (Araya 2004). Las raíces terciarias, de plantas afectadas por este nematodo, aparecen necróticas y se desprenden con facilidad (Gowen 2000). Como síntomas secundarios aparece reducción del tamaño de la planta, menor peso de racimo. El volcamiento puede ocurrir en plantas muy afectadas por este nematodo (Guzmán-Piedrahita 2011b). La reducción

causada en los rendimientos, por la alimentación de *Helicotylenchus* spp., puede ser de entre 19 (Speijer y Fogain 1998) y 34% (Reddy 1994).

2.3 Nematodos de suelo

2.3.1 Funciones de los nematodos en el suelo

La heterogenidad en tamaño, naturaleza y agregación temporal y espacial de las partículas del suelo proveen de una gran variabilidad de hábitats para una gran diversidad de organismos. Entre estos organismos están los nematodos. Los nematodos son los metazoos más abundantes del planeta, se encuentran en una cantidad inmensa de hábitats. Las funciones ecológicas de los nematodos incluyen la descomposición de la materia orgánica, mineralización de nutrientes, degradación de tóxicos y regulación de patógenos de plantas (Bongers y Ferris 1999).

2.3.2 Uso de los nematodos como bioindicadores

La estructura de la comunidad de nematodos ofrece un instrumento eficiente para el conocimiento de la calidad y función de los suelos. Básicamente los nematodos son buenos bioindicadores debido a que: (1) son metazoos simples, ocurren en cualquier ambiente que provea recursos de carbono, en diferentes tipos de suelo, climas y condiciones de contaminación; (2) en el suelo, los nematodos viven en el agua capilar, su cutícula permeable está en contacto directo con el microambiente; (3) ellos no migran rápidamente en condiciones de estrés, muchas especies pueden sobrevivir en condiciones de deshidratación, congelamiento o falta de oxígeno, mientras que otras especies son muy sensibles; (4) la estructura de su comunidad es un indicativo de las condiciones del horizonte del suelo donde habitan; (5) su identificación puede ser relativamente fácil con entrenamiento; (6) tienen una clara relación entre estructura y función; el comportamiento alimenticio se deduce al observar su estructura bucal; (7) los nematodos responden rápidamente a la perturbación y enriquecimiento del ambiente; incrementos en la actividad microbial causan cambios en la comunidad de bacteriófagos (Bongers y Ferris 1999).

Existen varios índices que utilizan la estructura de nematodos en el suelo como bio-indicador. El índice de madurez (Bongers 1990) es de los más conocidos y brinda un valor numérico de la condición del suelo, mediante la clasificación de los nematodos en la escala c-p; esta escala está relacionada con la estrategia de vida de los nematodos para colonizar y mantenerse en el ambiente según las condiciones agroambientales (Bongers 1990). Este índice otorga información sobre la condición de la comunidad de nematodos y se basa en la clasificación en colonizadores y persistentes. Los colonizadores (c) incrementan rápidamente en número bajo condiciones favorables. Tienen un ciclo de vida corto, alta capacidad de colonización y tolerancia a la perturbación, eutrotificación y anoxibiosis. Son dominantes en las muestras. Tienen alta fluctuación poblacional. Con gónadas grandes, producen muchos huevos pequeños y algunas veces son vivíparos. Viven en una gran diversidad de hábitats. Ejemplos de estos son Rhabditidae, Panagrolaimidae, Diplogasteridae y Monhysteridae. Por otra parte, los persistentes (p) tienen baja tasa de reproducción, largo ciclo de vida, baja capacidad de colonización y son muy sensitivos a las perturbaciones. Nunca son dominantes en las

muestras, fluctúan levemente en número durante el año. Tienen gónadas pequeñas, pero producen huevos grandes. Viven en hábitats con una gran estabilidad. Ejemplos de ellos son Nygolaimidae, Thornematidae, Belondiridae, Actinolaimidae y Discolaimidae. El índice de madurez clasifica a los nematodos mediante la colocación en la escala c – p. Colonizadores y persistentes son extremos en la escala (c – p) que va de 1 (c) a 5 (p) (Bongers 1990).

También, han desarrollado indicadores para analizar la fauna de los nematodos tales como el índice de enriquecimiento, basal, estructural y de canal (Bongers y Ferris 1999; Ferris *et al.* 2001); estos índices brindan información sobre el estado de la cadena alimenticia del suelo y de la disponibilidad de recursos.

2.3.3 Efecto del tipo de manejo agronómico sobre la población de nematodos de suelo

La aplicación de plaguicidas tiene un efecto directo sobre la comunidad de nematodos de suelo. En general la abundancia relativa de nematodos disminuye ante la aplicación de plaguicidas, principalmente nematicidas y herbicidas (Sánchez-Moreno y Ferris 2007; Timper *et al.* 2012).

La aplicación de abonos o fertilizantes causa diferentes efectos sobre la comunidad de nematodos, en dependencia del tipo de material aplicado. En cuanto a la aplicación de enmiendas orgánicas, los productos con baja relación C/N producen un aumento en la cantidad de bacteriófagos oportunistas, lo que se relaciona con una mayor mineralización de N (Ferris y Matute 2003). Los abonos orgánicos incrementan la abundancia total de nematodos (Liang *et al.* 2009) y la abundancia relativa de bacteriófagos, decrecen la abundancia relativa de fitófagos, lo contrario ocurre cuando se aplican fertilizantes inorgánicos (Li *et al.* 2010).

La diversidad y abundancia de los nematodos de suelo decrece con la intensidad de cultivo. En un estudio realizado por (Kimenju *et al.* 2009) se encontró que los nematodos fitoparásitos predominaron en los cultivos agrícolas y los nematodos de vida libre en las tierras forestales.

Los nematodos tienen diferente sensibilidad al manejo agronómico. Tenuta y Ferris (2004) observaron que los nematodos c - p 4 y 5 fueron mucho más sensibles a la aplicaciones de nitrógeno, sugiriendo que la fertilización podría causar disminución en las poblaciones de estos grupos. Los nematodos c – p 4 y 5 son principalmente omnívoros y depredadores, la disminución de estos supone una baja en la capacidad de control natural de patógenos.

Literatura citada

- Abolusoro, S; Abolusoro, P. 2012. Effects of organic manure types on the growth, yield as well as root and soil populations of root-knot nematodes (*Meloidogyne incognita*) of tomato. *Scientific Journal of Agricultural* 1(5):138-144.
- Agu, C. 2008. Effects of organic manure types on root-gall nematode disease and african yam bean yield. *Agricultural Journal* 3(1):14-16.
- Almeida, VF; Campos, V. 1993. Sobrevivência de *Meloidogyne exigua* no solo e em raízes de cafeeiro no campo. *Fitopatol Bras* 18:147-150.
- Araya, M. 2004. Los fitonematodos del banano (*Musa* AAA Subgrupo Cavendish cultivares Grande Naine, Valery y Williams) su parasitismo y combate. 84-105 p.
- Avelino, J; Bouvret, M; Salazar, L; Cilas, C. 2009. Relationships between agro-ecological factors and population densities of *Meloidogyne exigua* and *Pratylenchus coffeae* sensu lato in coffee roots, in Costa Rica. *Applied Soil Ecology* 43:95-105.
- Barbosa, D; Vieira, H; Souza, R; Viana, A; Silva, C. 2004. Field estimates of coffee yield losses and damage threshold by *Meloidogyne exigua*. *Nematologia Brasileira* 28(1):49-54.
- Beer, J; Muschler, D; Kass, D; Somarriba, E. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems* 38:139-164.
- Bongers, T. 1990. The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia* 83:14-19.
- Bongers, T; Ferris, H. 1999. Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring. *Trends in Ecology & Evolution* 14(6):224-228.
- Campos, V; Villain, L. 2005. Nematode Parasites of Coffee and Cocoa. In Luc, M; Sikora, R; Bridje, J. eds. 2005. *Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture*.
- Carcache, M. 2002. Microorganismos no patógenos predominantes en la filosfera y rizosfera del café y su relación sobre la incidencia de enfermedades foliares y población de nematodos fitopatógenos en los sistemas convencional y orgánico. Magister. Turrialba, Costa Rica, CATIE.
- Carneiro, R; Cofcewicz, E. 2008. Taxonomy of Coffee-Parasitic root-knot nematodes, *Meloidogyne* spp. In Souza, R. ed. 2008. *Plant-Parasitic Nematodes of Coffee*. Springer.
- Carneiro, RMDG; Tigano, MS; Randig, O; Almeida, MRA; Sarah, JL. 2004. Identification and genetic diversity of *Meloidogyne* spp.(Tylenchida: Meloidogynidae) on coffee from Brazil, Central America and Hawaii. *Nematology* 6(2):287-298.
- Coyne, M. 2000. Microbiología del suelo: un enfoque exploratorio. Thomson-Paraninfo.
- Duyck, P; Dortel, E; Tixier, P; Vinatier, F; Loubana, P; Chabrier, C; Quénehervé, P. 2012. Niche partitioning based on soil type and climate at the landscape scale in a community of plant-feeding nematodes. *Soil Biology and Biochemistry* 44:49-55.
- Ferreira, V; Campos, V; Arc, DR. 1987. Flutuacao populacional de *Meloidogyne exigua* na rizosfera do cafeeiro. *Nematologia Brasileira* 11(159-176).
- Ferris, H; Bongers, T; Goede de, R. 2001. A framework for soil food web diagnostics: extensions of the nematode faunal analysis concept. *Applied Soil Ecology* 18:13 - 29.
- Ferris, H; Matute, MM. 2003. Structural and functional succession in the nematode fauna of a soil food web. *Applied Soil Ecology* 23(2):93-110.

- Fujimoto, T; Hasegawa, S; Otobe, K; Mizukubo, T. 2010. The effect of soil water flow and soil properties on the motility of second-stage juveniles of the root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*). *Soil Biology and Biochemistry* 42(7):1065-1072.
- García, J. 2012. Densidad y diversidad de nematodos en sistemas agroforestales de café en asocio con bananos y sombra de leguminosas en Jinotega, Nicaragua. Magister. Turrialba, CR, CATIE.
- Glazer, I; Orion, D. 1983. Studies on anhydrobiosis of *Pratylenchus thornei*. *Journal of Nematology* 15(3):333.
- Gonçalves, W; Camargo Barbosa, L; Muraro, M; Silvarolla, M. 1996. Patogenicidade de *Meloidogyne exigua* e *M. incognita* raça 1 a mudas de cafeeiros. *Bragantia*, Campinas 55(1):89-93.
- Gowen, S. 2000. Spiral nematode. In Jone, D. ed. 2000. Diseases of banana, Abacá and Enset. Wallingford, UK, CABI Publishing. 306-307 p.
- Gowen, S; Quénéhervé, P; Fogain, R. 2005. Nematode parasites of bananas and plantains. In Luc, M; Sikora, R; Bridje, J. eds. 2005. Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture.
- Guzmán-Piedrahita, O. 2011a. El nematodo Barrenador (*Radopholus similis* [Cobb] Thorne) del banano y plátano. *Revista Luna Azul* 32:137-153.
- _____. 2011b. Importancia de los nematodos espiral, *Helicotylenchus multicinctus* (Cobb) Sher, en banano y plátano. *Agronomía* 19(2):19 - 32.
- Haggar, J; Barrios, M; Bolaños, M; Merlo, M; Moraga, P; Munguia, R; Ponce, A; Romero, S; Soto, G; Staver, C; de M. F. Virginio, E. 2011. Coffee agroecosystem performance under full sun, shade, conventional and organic management regimes in Central America. *Agroforestry Systems* 82(3):285-301.
- Handoo, Z; Sakantar, A; Carta, L; Schmitt, D. 2005. Morphological and molecular evaluation of a *Meloidogyne* hapla population damaging coffee (*Coffea arabica*) in Maui, Hawaii. *Journal of Nematology* 37(2):136-145.
- Herrera, I. 2011. Root-knot nematodes and coffee in Nicaragua: Management systems, species Identification and genetic diversity. Doctoral Swedish, Swedish University of Agricultural Sciences. 57 p.
- Hurchanik, D; Schmitt, D; Hue, N; Sipes, B. 2004. Plant nutrient partitioning in coffee infected with *Meloidogyne konaensis*. *Journal of Nematology* 36(1):76-84.
- Inomoto, M; Oliveira, C. 2008. Coffee-Associated *Pratylenchus* spp. – Ecology and Interactions with Plants. In Souza, R. ed. 2008. Plant-Parasitic Nematodes of Coffee. Springer.
- Inomotto, M; Oliveira, C; Mazzafera, P; Gonçalves, W. 1998. Effect of *Pratylenchus brachyurus* and *P. coffeae* on seedlings of *Coffea arabica*. *Journal of Nematology* 30(3):362-367.
- Jaehn, A; Rebel, E. 1984. Sobrevivência do nematóide de galhas *Meloidogyne incognita* em substrato infestado, para produção de mudas de cafeeiro sadias. *Nematol Bras* 8:319-324.
- Jaehn, A. 1991. Determinação da constante térmica das raças 1, 2 e 4 de *Meloidogyne incognita* em cafeeiro. *Nematologia Brasileira* 15:135-142.
- Janaina, J; Leandro, J; Yamada, V; Almeida, R; Ferraz, S. 2011. Efeito de adubos orgânicos sobre *Meloidogyne javanica* em tomateiro. *Nematologia Brasileira* 35(1-2).
- Karssen, G; Moens, M. 2006. Root-knot Nematodes. In Perry, R; Moens, M. eds. 2006. Plant Nematology.

- Kimenju, J; Karanja, N; Mutua, G; Rimberia, B; Wachira, P. 2009. Nematode community structure as influenced by land use and intensity of cultivation. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 11:353-360.
- Kubo, R; Silva, R; Tomazini, M; Oliveira, C; Mazzafera, P; Inomoto, M. 2003. Patogenicidade de *Pratylenchus coffeae* em plântulas de cafeeiro cv. Mundo Novo*. *Fitopatol. bras.* 28(1):41-48.
- Li, Q; Jiang, Y; Liang, W; Lou, Y; Zhang, E; Liang, C. 2010. Long-term effect of fertility management on the soil nematode community in vegetable production under greenhouse conditions. *Applied Soil Ecology* 46(1):111-118.
- Liang, W; Lou, Y; Li, Q; Zhong, S; Zhang, X; Wang, J. 2009. Nematode faunal response to long-term application of nitrogen fertilizer and organic manure in Northeast China. *Soil Biology and Biochemistry* 41(5):883-890.
- Luc, M; Sikora, R; Bridje, J. 2005. *Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture*. 2. CABI. 918.
- Machado, ART; Campos, VAC; Silva, WJR; Campos, VP; Zeri, ACdM; Oliveira, DF. 2012. Metabolic profiling in the roots of coffee plants exposed to the coffee root-knot nematode, *Meloidogyne exigua*. *European Journal of Plant Pathology* 134(2):431-441.
- Mazzafera, P; Kubo, R; Inomoto, M. 2004. Carbon fixation and partitioning in coffee seedlings infested with *Pratylenchus coffea*. *European Journal of Plant Pathology* 110:861-865.
- Mendes, B; Ferraz, S; Shimoya, C. 1977. Observações histopatológicas de raízes de cafeeiro parasitados por *Meloidogyne exigua* Goeldi, 1887. *Trabalhos apresentados. Brasil*.
- Moens, T; Araya, M; Swennen, R; De Waele, D. 2006. Reproduction and pathogenicity of *Helicotylenchus multicinctus*, *Meloidogyne incognita* and *Pratylenchus coffeae*, and their interaction with *Radopholus similis* on *Musa*. *Nematology* 8(1):45-58.
- Oliveira, D; Oliveira, R; Silva, D; Silva, R. 2009. Falha na adaptabilidade (Fitness) de *Meloidogyne incognita* ao cafeeiro *Nematologia Brasileira*:207-212.
- Olowe, T; Corbett, D. 1976. Aspects of the biology of *Pratylenchus brachyurus* and *P. zaeae*. *Nematologica* 22(2):202-211.
- Pinochet, J; Cordero, D; Berrocal, A. 1986. Fluctuación estacional de poblaciones de nematodos en dos cafetales en Panamá. *Revista Interamericana de Ciencias Agrícolas* 36(2):149-156.
- Procter, DLC. 1990. Global overview of the functional roles of soil-living nematodes in terrestrial communities and ecosystems. *Journal of Nematology* 22(1):1.
- Prot, J; Gundy, S. 1981. Effect of Soil Texture and the Clay Component on Migration of *Meloidogyne incognita* Second-stage Juveniles. *Journal of Nematology* 13(2):213-218.
- Quénéhervé, P. 1989. Population of nematodes in soils under banana, cv. Poyo, in the Ivory Coast. 3. Seasonal dynamics of populations in mineral soil. *Revue de nématologie* 12(2):149-160.
- Radewald, J; O'Bannon, J; Tomerlin, A. 1971. Temperature effects on reproduction and pathogenicity of *Pratylenchus coffeae* and *P. brachyurus* and survival of *P. coffeae* in roots of *Citrus jambhiri*. *Journal of Nematology* 3(4):390.
- Salas, L; Echandi, E. 1961. Nematodos parásitos en plantaciones de café de Costa Rica. *Café (Costa Rica)* 3(8):6-9.
- Sánchez-Moreno, S; Ferris, H. 2007. Suppressive service of the soil food web: Effects of environmental management. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 119(1-2):75-87.
- Siddiqi, M. 2000. Morphological characters and taxonomic methods. *In* Siddiqi, M. ed. 2000. *Tylenchida: parasites of plants and insects*. 37-85 p.

- Siles, P; Harmand, J; Vaast, P. 2010. Effects of *Inga densiflora* on the microclimate of coffee (*Coffea arabica* L.) and overall biomass under optimal growing conditions in Costa Rica. *Agroforestry Systems* 78:269-286.
- Souza, R; Bressan-Smith, R. 2008. Coffee-associated *Meloidogyne* spp.-Ecology and interaction with plants. *In* Souza, R. ed. 2008. Plant-parasitic nematodes of coffee. Springer. p. 7.
- Souza, R; Volpato, A; Viana, A. 2008. Epidemiology of *Meloidogyne exigua* in an upland coffee plantation in Brazil. *Nematol. mediterr.* 36:13-17.
- Tenuta, M; Ferris, H. 2004. Sensitivity of nematode life-history groups to ions and osmotic tensions of nitrogenous solutions. *JOURNAL OF NEMATOLOGY*. 36:85-94.
- Timper, P; Davis, R; Jagdale, G; Herbert, J. 2012. Resiliency of a nematode community and suppressive service to tillage and nematicide application. *Applied Soil Ecology* 59:48-59.
- Trinh, P; Wesemael, W; Moens, M; Nguyen, C. 2011. Decline of *Pratylenchus coffeae* and *Radopholus arabocoffeae* populations after death and removal of 5-year-old arabica coffee (*Coffea arabica* cv. Catimor) trees. *Nematology* 13(4):491-500.
- Trinh, PQ; Wesemael, WML; Nguyen, STT; Nguyen, CN; Moens, M. 2010. Pathogenicity and reproductive fitness of *Pratylenchus coffeae* and *Radopholus arabocoffeae* on Arabica coffee seedlings (*Coffea arabica* cv. Catimor) in Vietnam. *European Journal of Plant Pathology* 130(1):45-57.
- Tronconi, N; Ferraz, S; Santos, J; Regazzi, A. 1986. Influencia da temperatura na patogenicidade e reproducao de *Meloidogyne exigua* em mudas de cafeeiro. *Nematologia Brasileira* 10:69-83.
- Villain, L; Anzueto, F; Hernández, A; Sarah, J. 1999. Los Nematodos Parásitos del Cafeto. *In* Bertrand, B; Rapidel, B. eds. 1999. Desafíos de la caficultura en Centroamérica. San José, Costa Rica, Agroamerica.
- Villain, L. 2008. Plant-Parasitic nematodes of coffee ; economic importance, epidemiology and management of *Pratylenchus* in coffee plantations. *In* Souza, R. ed. 2008. Plant-parasitic nematodes of coffee. Springer.
- Zadoks, JC; Schein, RD. 1979. Epidemiology and plant disease management. *Epidemiology and plant disease management*.
- Zhang, F; Schmitt, D. 1995. Embryogenesis and Postinfection Development of *Meloidogyne konaensis*. *Journal of Nematology* 27(1):103-108.

3. ARTÍCULO I

DENSIDAD Y DIVERSIDAD DE NEMATODOS FITOPARÁSITOS DEL CULTIVO DE CAFÉ Y SU RELACIÓN CON VARIABLES AGROECOLÓGICAS

María Emérita Chaves, Jacques Avelino,

Alejandro Esquivel, Howard Ferris,

Gabriela Soto, Charles Staver

Resumen

Los nematodos fitoparásitos causan grandes pérdidas en los cultivos de café y banano. En Costa Rica es común encontrar gran diversidad de sistemas de cultivo, con diferencias en el manejo de la sombra y de la intensidad de aplicaciones de plaguicidas. El uso de banano como sombra de café es una práctica común. Sin embargo, se conoce poco sobre el efecto del tipo de sistema sobre las poblaciones de nematodos fitoparásitos en el cultivo de café y en el de banano asociado a éste. Este trabajo se realizó con la finalidad de conocer la densidad y diversidad de nematodos fitoparásitos en el cultivo de café y en el banano asociado, en diferentes sistemas y la relación de los fitoparásitos de café con variables agroecológicas. En el Valle Central y Valle Occidental de Costa Rica se estableció un total de sesenta parcelas comerciales de café en diferentes sistemas: pleno sol, convencional con o sin banano, orgánico con o sin banano. Se tomaron muestras compuestas de raíz de plantas de café y banano. Se caracterizó cada parcela mediante la medición de variables agroecológicas. Los nematodos fitoparásitos fueron extraídos de las muestras por el método de centrifugación-flotación en solución azucarada. Las medias de densidad de nematodos fitoparásitos de café y banano fueron comparadas entre tipos de sistemas mediante pruebas LSD. Por medio de tablas de contingencia y análisis de correspondencias se analizó la relación entre los nematodos fitoparásitos de café y las variables agroecológicas. No se encontró una relación clara entre los tipos de sistema de cultivo y las densidad y diversidad poblacional de nematodos fitoparásitos de café y banano, con la excepción de la mayor abundancia de *Helicotylechus* sp. encontrada en raíces de café provenientes de parcelas en las que había banano asociado. En el caso de *Meloidogyne* la variable que se relacionó con su mayor abundancia fue el menor porcentaje de sombra (0 a 59.7 %). La mayor densidad poblacional de *Pratylenchus* se encontró asociada con mayor cantidad de lluvia (1248 mm), mayor altitud (1175 msnm), mayor porcentaje de arena (40 a 52 %) y menor porcentaje arcilla (10 – 26.6 %).

Palabras clave: *Meloidogyne* spp., *Pratylenchus* sp., banano, sombra, altitud

3.1 Introducción

Los nematodos fitoparásitos son un factor limitante para el cultivo de café y para el cultivo de banano. La única especie de café cultivada en Costa Rica es *Coffea arabica* y es especialmente susceptible a los nematodos (Campos y Villain 2005). En el mundo, las pérdidas causadas por los nematodos en el cultivo de café se estiman en 15% (Campos y Villain 2005). Los principales nematodos que afectan al café en Centroamérica son el nematodo agallador *Meloidogyne* spp y el nematodo lesionador *Pratylenchus* sp. Generalmente, ambos se encuentran juntos, pero, *Meloidogyne* spp suele predominar (Herve *et al.* 2005). Los daños causados por *Meloidogyne* spp conducen a pérdidas en el rendimiento entre 10 a 15 %, incluso, en determinadas condiciones puede ser hasta del 100% (Souza y Bressan-Smith 2008). *Pratylenchus* puede llevar a pérdidas en el rendimiento de 29 a 78%. En Costa Rica, las principales especies de nematodos fitoparásitos de café son *M. exigua* y *P. coffeae* (Herve *et al.* 2005; Villain 2008). En el cultivo de banano después de las lesiones foliares causadas por la Sigatoka negra y amarilla los nematodos fitoparásitos son los organismos que causan mayor disminución del crecimiento y desarrollo (Araya 2004). En el cultivo de banano las especies más importantes son *Radopholus similis* (Cobb) Thorne, *Pratylenchus coffeae* Sher y Allen y *Helicotylenchus multicinctus* (Cobb) Golden; estos nematodos pueden causar infección simultanea de las raíces de banano (Gowen *et al.* 2005; Moens *et al.* 2006; Guzmán-Piedrahita 2011b).

En Costa Rica existen sistemas de café a pleno sol o con sombras de diferentes tipos de árboles y musáceas, especialmente banano; después de la crisis de precios de los 90's y con las nuevas tendencias de consumo de productos sostenibles, también, se han establecido plantaciones orgánicas (Bertrand y Rapidel 1999). Los sistemas son diversos en cuanto a la intensidad del manejo agronómico, se utilizan diferentes tipos de sombra, cantidad y tipo de plaguicidas y fertilizantes.

Las diferencias en el manejo del cultivo pueden afectar las poblaciones de nematodos. Villain *et al* (1999) mencionaron que la disminución en la sombra y el uso intensivo de plaguicidas podría causar aumento en las poblaciones de los nematodos fitoparásitos del café. Sin embargo, pocos trabajos han comparado las poblaciones de nematodos en diferentes sistemas; algunos estudios al respecto son los de Samayoa-Juarez (1999); Carcache (2002) y Herrera (2011). Estas investigaciones han llegado a la conclusión que los sistemas con poca sombra o pleno sol tienen las mayores poblaciones especialmente de *Meloidogyne* spp. Por otra parte, García (2012) estudió en Nicaragua sistemas con y sin banano, debido a la observación de los agricultores de que en sistemas con banano existía mayor cantidad de nematodos fitoparásitos. Sin embargo, los resultados fueron poco contundentes y las poblaciones de nematodos no eran altas. En otra investigación Avelino *et al.* (2009) determinaron altas poblaciones de *M. exigua* en plantaciones de café con banano asociado.

El tipo de manejo no es el único factor que podría relacionarse con la población de nematodos fitoparásitos del café. La densidad y diversidad de plagas pueden ser el resultado de múltiples factores. Esto es explicado por Zadocks y Schein (1979) en lo que se conoce como el tetraedro

de la enfermedad. Este enfoque describe como las enfermedades se relacionan con variables ambientales, de manejo del cultivo y características propias del patógeno. En el caso específico de nematodos, se encuentran pocos trabajos que estudien de manera holística factores que pudieran afectar a estos organismos (Avelino et al. 2009; Duyck et al. 2012). Sin embargo, en estos estudios se ha comprobado que factores como las características químicas y físicas de suelo, la lluvia y tipo de manejo tienen efecto sobre la población de nematodos fitoparásitos y a la vez las variables se relacionan entre sí.

Este trabajo tiene como objetivo determinar la densidad y diversidad de nematodos fitoparásitos de café y banano en sistemas agroforestales (pleno sol, orgánico con o sin banano, convencional con o sin banano) y distinguir las relaciones existentes entre variables agroecológicas y la densidad de nematodos fitoparásitos del cultivo de café.

3.2 Materiales y Métodos

3.2.1 Descripción del área de estudio

Este estudio se realizó en las regiones cafetaleras del Valle Central y Valle Occidental de Costa Rica. La región cafetalera del Valle Central tiene estaciones secas y lluviosas bien definidas, suelos de origen volcánico y el 84 % de sus cafetales se encuentra a más de 1200 msnm. El Valle Occidental es muy similar al Central en cuanto a clima y suelo, con la diferencia que los rangos altitudinales son mayores, se pueden encontrar plantaciones de los 800 a los 1400 msnm (Icafe 2013). Las localidades donde se realizó el estudio fueron: Atenas, Palmares y Santa Bárbara de Heredia (**Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Cuadro 1 Lluvia y altitud de las localidades donde se realizó el estudio

Zona	Localidades	Lluvia (mm) ^a	Altitud (msnm)
Valle Occidental	Atenas	567	900 – 1200
	Palmares	689	1150
Valle Central	Santa Bárbara	1248	1175

a. Lluvia acumulada de Enero a Junio del 2013

3.2.2 Sistemas de cultivo

Con la finalidad de estudiar sistemas de café comunes en Costa Rica se evaluaron los siguientes cinco tipos PS: fincas convencionales de café sin ningún tipo de sombra; SS: fincas de café convencional con sombra de árboles pero sin sombra de banano; SB: fincas de café convencional con sombra de árboles y de banano; OS: fincas de café orgánico con sombra de árboles pero sin sombra de banano; OB: fincas de café orgánico con sombra de árboles y de banano. En todos los casos se evaluaron plantaciones de café con más de 20 años de edad de la variedad Caturra o Catuaí. Los sistemas orgánicos estaban certificados.

En cada localidad se intentó estudiar los cinco tipos de sistemas y con la menor distancia entre estos para evitar variabilidad en suelo y clima dentro de las localidades. Sin embargo, en Palmares y en Santa Bárbara no fue posible encontrar fincas PS y SB, cercanas al área de estudio. Siempre se colocaron pares de fincas orgánicas y convencionales totalmente contiguas.

3.2.3 Número y delimitación de parcelas

En este estudio se delimitó un total de 60 parcelas comerciales de café. En un diagnóstico inicial se utilizó la presencia de agallas en las raíces de café para seleccionar fincas que tuvieran nematodos. La cantidad y ubicación de las parcelas por tipo de sistema se realizó según la disponibilidad de terreno y se intentó abarcar las distintas condiciones agroecológicas de cada localidad (cuadro 2). Cada parcela estaba conformada por 10 filas de café con 10 plantas cada una.

Cuadro 2 Número de parcelas por localidad y sistema de cultivo

Localidad	Sistema	# Parcelas
Atenas	OB	4
	OS	9
	PS	4
	SB	3
	SS	6
Palmares	OB	4
	OS	4
	SB	3
	SS	4
Sta. Bárbara	OB	4
	OS	6
	PS	6
	SS	3

Dentro de cada parcela fueron seleccionados cuatro puntos de muestreo para nematodos, ciertas características de las plantas y de manejo, como se verá más adelante. Estos puntos se eligieron al azar, con la realización de un recorrido en zigzag dentro de la parcela. Cada punto de muestreo estaba compuesto por cinco plantas de café (Figura 2). En las parcelas con banano se muestreó al azar tres plantas de banano.

3.2.4 Determinación de la densidad y diversidad de nematodos fitoparásitos de café y banano

La densidad y diversidad de nematodos fitoparásitos se determinó en raíces de café y de banano asociado.

3.2.4.1 Toma de muestras de raíz

El muestreo de raíces de café se llevó a cabo al inicio de la época lluviosa (junio del 2013). Una muestra compuesta de 20 submuestras de raíces de café fue tomada de cada parcela. Para la recolección de las submuestras de café se tomó un cuadrante de 20 cm de largo por 20 cm de ancho y 20 cm de profundidad. Este cuadrante se realizó a 20 cm de distancia del tronco de cada una de las plantas seleccionadas por punto de muestreo (Figura 2). Del cuadrante se tomaron todas las raíces de café presentes. El muestreo de raíces de banano se realizó en las plantas seleccionadas por parcela. Cada muestra compuesta de raíz de banano consistió de 12 submuestras. Cuatro submuestras se tomaron por planta de banano seleccionada (figura 3). La submuestra fue tomada a 20 cm de profundidad. Con un palín se realizó un cuadrante de 20 cm de ancho por 20 cm de largo. Se colectó todas las raíces de banano presentes en cada cuadrante. Las muestras compuestas de café y banano fueron colocadas en bolsas plásticas rotuladas, se mantuvieron alejadas de temperaturas extremas y se trasladaron al laboratorio para su análisis.

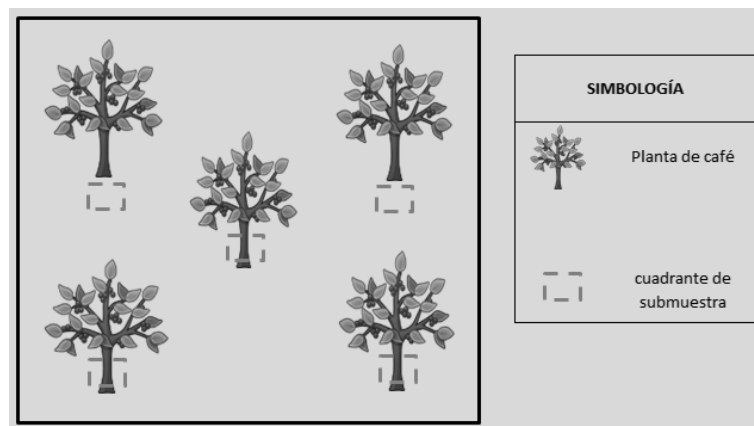


Figura 2. Ilustración de un punto de muestreo en café, se indica ubicación del cuadrante de donde se tomó la submuestra

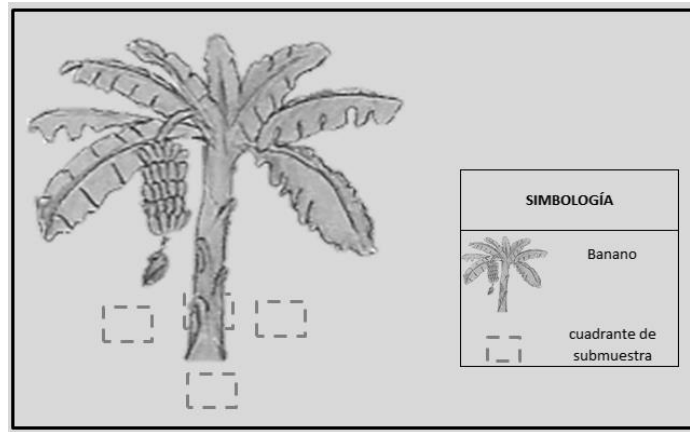


Figura 3. Ilustración del punto de muestreo de banano, se indica ubicación del cuadrante de toma de submuestra

3.2.4.2 Extracción y evaluación de nematodos en raíces de café y banano

El proceso de extracción, conteo e identificación de los nematodos fitoparásitos se llevó a cabo en el laboratorio de Nematología de la UNA. Se utilizó la metodología de Araya (2002) modificada. Se lavó cada muestra con agua potable para eliminar todos los residuos de suelo. En el caso de raíces de banano se separaron en raíces funcionales y no funcionales, por aparte se pesó las raíces funcionales y no funcionales. Las raíces de café fueron separadas en raíces finas y leñosas, se pesaron por aparte. Las raíces funcionales de banano y las raíces finas de café fueron procesadas. Se cortaron en trozos de 2 a 3 cm de longitud. Cada muestra fue homogenizada y cuarteada. Se tomaron 10 g de raíz por muestra (tomando pequeñas cantidades de raíz de diferentes partes de la muestra). Los 10 g de raíz se colocaron en un beaker de 250 ml y se les adicionó agua potable hasta los 150 ml. Se procedió a realizar el licuado con diferencias en tiempo según el tipo de raíz. Las raíces de banano se licuaron 10 segundos a baja velocidad y 5 segundos a alta velocidad. Las raíces de café se licuaron a baja velocidad por 10 segundos y a alta velocidad por 10 segundos más. La solución del licuado se tamizó en un juego de cribas superpuestas de 100 y 400 mallas. Las cribas se lavaron por un minuto. Posteriormente, la muestra recolectada fue procesada por el método de centrifugación-flotación en solución azucarada. En un microscopio invertido, a 40X, se identificaron y contaron los nematodos fitoparásitos presentes en cada muestra, a nivel de género. Para la identificación se utilizó la clave de Siddiqi (2000).

3.2.5 Análisis de datos de nematodos fitoparásitos

En este estudio cada parcela se consideró como un individuo con características particulares. Esto quiere decir que a pesar de que fueron escogidos tipos de sistema de cultivo, no fue posible controlar otras variables agroecológicas (suelo, ambiente, manejo del cultivo, especies asociadas) que posiblemente causan interferencia en la variable respuesta que es conteo de nematodos fitoparásitos. Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) para comparar la abundancia de nematodos entre tipos de sistemas, particionado por localidad, debido a que se

encontró una interacción significativa entre tipos de sistema y localidad ($p < 0.001$). Se utilizó la familia Poisson por ser datos de conteos, las medias se compararon con el uso de LSD. Todos los análisis se realizaron con el programa InfoStat (Di Rienzo *et al.* 2011).

3.2.6 Relación entre la densidad de nematodos fitoparásitos de café y variables agroecológicas

3.2.6.1 Caracterización agroecológica de parcelas

Las variables evaluadas o documentadas mediante entrevistas a los agricultores se muestran en el cuadro 3. Estas fueron evaluadas en junio del 2013, en el mismo momento que el muestreo de nematodos. El ambiente fue caracterizado por la altitud, lluvia y pendiente. La lluvia se midió de enero a julio del 2013, recolectada en pluviómetros colocados en cada localidad. La pendiente se tomó en cada parcela con el uso de un clinómetro. Para cada parcela se tomó una muestra compuesta de suelo, tomada de los mismos puntos de muestreo de nematodos y en el mismo momento en que se evaluaron estos. El análisis se enfocó en elementos considerados esenciales para el crecimiento del cultivo de café (Miranda 1989). También, se tomó una muestra de hojarasca de cada parcela, se determinó el peso seco y la relación C/N. Ambos análisis se realizaron en el laboratorio de suelos del CATIE. La altura de las plantas de café también, fue medida, esta se considera importante por el efecto de auto-sombreamiento (Avelino *et al.* 2006). Algunos datos relacionados con el manejo del cultivo fueron suministrados por los agricultores: variedad, edad del cultivo, la cantidad anual de deshierbas (químicas y mecánicas), fungicidas, nematicidas, insecticidas, fertilizantes, podas a árboles de sombra, practicas al suelo, tipo de fertilizantes, podas al café. Otras como distancia entre calles y entre plantas se midieron en cada punto de muestreo. El porcentaje de sombra fue evaluado en cada punto de muestreo usando un densiómetro esférico (Lemmon 1956).

Se utilizaron los datos de nematodos fitoparásitos de café obtenidos según la metodología explicada en la sección 3.2.3. Pero, se utilizaron únicamente los conteos de los géneros *Meloidogyne* y *Pratylenchus*, que fueron los más abundantes.

Cuadro 3. Lista de variables descritas en las parcelas

Tipo de variable	Variable	Código	Unidad
Nematodos fitoparásitos	Conteo de <i>Meloidogyne</i>	Mel	-
	Conteo de <i>Pratylenchus</i>	Praty	-
Ambiente	Pendiente	Pen	%
	Altitud	Alt	Msnm
	Lluvia (acumulado de enero a julio del 2013)	Llu	Mm
Suelo	Arena	-	%
	Limo	-	%
	Arcilla	-	%
	pH	-	-
	Acidez	-	cmol(+)/l
	K	-	cmol(+)/l
	Ca	-	cmol(+)/l
	Mg	-	cmol(+)/l
	P	-	mg/l
	Fe	-	mg/l
	Cu	-	mg/l
	Mn	-	mg/l
	Zn	-	mg/l
Características de especies asociadas al cultivo de café	Sombra	S	%
	Peso seco de hojarasca	PSh	gr
	Relación C/N de hojarasca	C/N	-
	Número de plantas de banano	BA	-
	Número de árboles con menos de 6 metros de altura	Arp	-
	Número de árboles con más de 6 metros de altura	Arg	-

Tipo de variable	Variable	Código	Unidad
Manejo de la plantación	Presencia de árboles leguminosos ^a	LEG	-
	Número anual de aplicaciones de herbicida	HER	-
	Número anual de deshierbas mecánicas	DESH	-
	Número anual de fertilizantes/ abonos	FER	-
	Número anual de aplicaciones de insecticidas	INS	-
	Número anual de aplicaciones de nematicidas	NEM	-
	Número anual de aplicaciones de fungicidas	FUN	-
	Número anual de prácticas al suelo	PRAS	-
	Número anual de podas a árboles de sombra	PODs	-
	Tipo de fertilizante ^a	TFER	-
	Tipo de prácticas al suelo ^a	TPRA	-
	Tipo de poda al café ^a	PODc	-
	Distancia entre plantas	DEP	cm
	Distancia entre filas	DEC	cm
Características de la plantación de café	Variedad ^a	Var	-
	Peso fresco de raíz funcional	PFr	gr
	Altura del tronco	AT	cm
	Edad de la plantación en años	EDAD	años

3.2.6.2 Análisis de datos

El enfoque de esta sección fue el de encuesta agronómica. Este es un método descriptivo. Se utiliza para estudiar situaciones en las que es inevitable que existan relaciones entre variables agroecológicas que afectan a la variable de interés, en este caso los nematodos fitoparásitos. El análisis de datos se realizó igual al propuesto por Avelino *et al* (2006). En general trató de dos etapas: (1) Caracterización y selección de variables. Las variables se categorizaron agrupando el total de parcelas en valores bajos, medios y altos, procurando que todas las categorías quedaran con similar número de parcelas. Luego se realizaron tablas de contingencia y pruebas de Chi-cuadrado entre las variables categorizadas y las categorías de *Meloidogyne* y

Pratylenchus. Se escogieron las variables con mayor dependencia ($p \leq 0.6$). Las variables con menor dependencia no se tomaron en consideración para el siguiente análisis. (2) Realización de análisis de correspondencias múltiples entre las categorías de nematodos fitoparásitos y las categorías de variables agroecológicas. Los análisis se realizaron con el programa InfoStat (Di Rienzo *et al.* 2011).

3.3 Resultados y Discusión

3.3.1 Diversidad y densidad de nematodos fitoparásitos en el cultivo de café

Los nematodos fitoparásitos encontrados en las raíces de café fueron *Meloidogyne* spp, *Pratylenchus* sp y *Helicotylenchus* sp. La abundancia de *Meloidogyne* spp y *Pratylenchus* sp en el cultivo de café ha sido reportada por varios autores (Campos *et al.* 1990; Villain 2008; Avelino *et al.* 2009; Herrera 2011; García 2012). *Helicotylenchus* sp. se ha reportado en plantaciones de café en Centroamérica, pero, en bajas densidades y sin causar daños económicos (Pinochet y Ventura 1980; Pinochet y Guzman 1987). García (1993) y García (2012) han reportado la presencia de *Pratylenchus* sp., *Meloidogyne* spp. y *Helicotylenchus* sp. en plantaciones de café en Nicaragua.

Meloidogyne spp fue el género más abundante, seguido por *Pratylenchus* sp y *Helicotylenchus* sp. La predominancia de *Meloidogyne* sobre *Pratylenchus* en el cultivo de café ha sido reportada (Herve *et al.* 2005; Herrera 2011). La competencia que ocurre entre nematodos fitoparásitos la han sugerido varios autores para explicar la predominancia de un género sobre otro (Chapman y Turner 1975; Umesh *et al.* 1994; Herve *et al.* 2005; Herrera 2011; Avelino *et al.* 2009).

Los promedios de densidades poblaciones encontradas en este estudio variaron entre 2900 a 68000 nematodos / 100 g de raíz de café (Cuadro 4). Similares densidades poblacionales han encontrado otros autores. Avelino *et al.* (2009) determinaron un máximo de 60000 individuos de *M. exigua* / 100 g de raíz, en muestreos realizados durante dos años en diferentes localidades de Costa Rica, a finales de la época lluviosa. Romero (2010) reportó densidades superiores a los 60000 individuos de *Meloidogyne* spp por 100 g de raíz, en muestreos realizados a finales de la época seca y en la época lluviosa, en Cartago.

En el cuadro 4 se presenta la densidad poblacional de *Meloidogyne* spp por tipo de sistema y localidad. Se determinaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para la densidad poblacional de *Meloidogyne* entre los sistemas de cultivo. Sin embargo, los resultados demuestran que hay efecto de la localidad sobre las poblaciones de este nematodo y que el tipo de sistema no tiene un efecto claro. En cada localidad se encontraron diferentes sistemas con mayor densidad de este nematodo. En Atenas la mayor densidad se encontró en el sistema pleno sol, en Palmares en el sistema convencional sombra sin banano y en Santa Bárbara el sistema orgánico con sombra de árboles y sin banano tuvo el mayor promedio, pero, pleno sol también tuvo valores altos. A pesar del efecto poco claro de los sistemas de cultivo, se observa una tendencia de alta densidad poblacional de *Meloidogyne* en el sistema pleno sol. La interacción significativa

entre sistemas de cultivo y localidad sugiere que existen otros factores que afectaron las poblaciones de nematodos, factores que el sistema de muestreo no permitió controlar.

También, Samayoa-Juarez (1999); Carcache (2002) y Herrera (2011), encontraron mayor cantidad de *Meloidogyne* cuando había menos sombra en el cafetal. No es sencillo explicar porque *Meloidogyne* puede ser más abundante en sistemas con mayor exposición al sol; es posible que esto ocurra por los requerimientos de altas temperaturas que tienen algunas especies para su desarrollo y reproducción (Tronconi *et al.* 1986; Souza y Bressan-Smith 2008), también podría explicarse por los cambios fisiológicos que puede tener el cultivo cuando está más expuesto al sol.

Cuadro 4 Densidad poblacional de *Meloidogyne* spp. en 10 gr de raíz de café por sistema de cultivo y localidad

Localidad	PS	SS	SB	OS	OB
Atenas	1476.0 A	574.7 D	650.7 C	572.1 D	790.0 B
Palmares	-	6806.0 A	5762.0 C	6578.0 B	857.0 D
Santa Bárbara	2356.0 B	293.3 D	-	3799.3 A	1890.5 C

PS: convencional a pleno sol, SS: convencional con sombra de árboles y sin bananos, SB: convencional con sombra de árboles y con bananos, OS: orgánico con sombra de árboles y sin bananos, OB: orgánico con sombra de árboles y con bananos

El promedio de densidad poblacional de *Pratylenchus* fluctuó entre 103 a 5200 individuos / 100 g de raíz. Otros autores han encontrado densidades poblacionales similares o menores a esta. Avelino *et al.* (2009) determinaron poblaciones de *Pratylenchus coffeae sensu lato* superiores a los 5000 individuos / 100 g de raíz, en evaluaciones realizadas durante dos años, en diferentes localidades de Costa Rica a finales de la época lluviosa. Balmaceda y Cruz (1998) encontraron, en invierno, valores de entre 2000 a 3000 individuos / 100 g de raíz, en Masaya, Nicaragua.

Los sistemas de cultivo presentaron diferencias significativas de densidades poblacionales de *Pratylenchus* sp (Cuadro 5). Se encontró interacciones significativas ($p \leq 0.01$) entre las localidades y los sistemas de cultivo. En Atenas y Santa Bárbara el sistema convencional sombra sin banano presentó la mayor abundancia de este nematodo, en Palmares fue el sistema orgánico con sombra de árboles y banano el que mostró esa condición. Los resultados

indican que existen aspectos de la localidad que afectan los resultados y el efecto del tipo de sistema se muestra confuso.

En Santa Bárbara las densidades poblacionales de *Pratylenchus* fueron mayores en comparación con las otras localidades. Esta localidad tenía la mayor altitud y precipitación (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) factores que se han relacionado con mayor abundancia de este nematodo (Avelino *et al.* 2009).

Cuadro 5 Densidad poblacional de *Pratylenchus* sp. en 10 gr de raíz de café por sistema de cultivo y localidad

Localidad	PS	SS	SB	OS	OB
Atenas	28.0 C	172.0 A	69.3 B	26.8 C	10.3 D
Palmares	-	35.0 C	70.3 B	68.0 B	109.5 A
Santa Bárbara	321.3 C	520.0 A	-	350.7 B	275.3 D

PS: convencional a pleno sol, SS: convencional con sombra de árboles y sin bananos, SB: convencional con sombra de árboles y con bananos, OS: orgánico con sombra de árboles y sin bananos, OB: orgánico con sombra de árboles y con bananos

La densidad poblacional de *Helicotylenchus* se ubicó entre los 80 a 1840 individuos / 100 g de raíz. Anteriormente se ha reportado a este género parasitando raíces de café pero su abundancia es baja, generalmente no supera los 2000 individuos / 100 g de raíz (García 2012). Suele ser un género de poca importancia para el café (Luc *et al.* 2005).

Las medias de densidad poblacional de *Helicotylenchus* fueron diferentes significativamente ($p \leq 0.05$) y se encontró interacción significactiva entre localidades y sistemas de cultivo ($p \leq 0.01$) (cuadro 6). Los sistemas con mayor abundancia de este nematodo fueron aquellos que tenían banano asociado (convencional con sombra de árboles y banano y orgánico con sombra de árboles y banano). Las poblaciones de nematodos fitoparásitos dependen de la presencia de hospedantes. Uno de los principales hospederos de *Helicotylenchus* es el cultivo de banano (Guzmán-Piedrahita 2011a). Posiblemente, la presencia del hospedero propició la abundancia de este nematodo en los sistemas mencionados.

Cuadro 6 Densidad poblacional de *Helicotylenchus* sp en 10 gr de raíz de café por sistema de cultivo y localidad

Localidad	PS	SS	SB	OS	OB
Atenas	8.0 D	24.0 C	184.0 A	4.9 E	53.3 B
Palmares		23.0 A	77.3 A	0.0 A	34.0 A
Santa Bárbara	1.3 C	8.0 B		8.0 B	13.8 A

PS: convencional a pleno sol, SS: convencional con sombra de árboles y sin bananos, SB: convencional con sombra de árboles y con bananos, OS: orgánico con sombra de árboles y sin bananos, OB: orgánico con sombra de árboles y con bananos

3.3.2 Densidad y diversidad de nematodos fitoparásitos en el cultivo de banano asociado al café

Los nematodos fitoparásitos encontrados en las raíces de banano asociado al café fueron *Helicotylenchus* sp y *Meloidogyne* spp. Estos géneros se encuentran entre los más importantes en plantaciones comerciales de banano en Costa Rica (Araya *et al.* 1995; Araya 2004), en banano asociado con café estos nematodos predominan (García 2012).

Araya (1998) indica que no son comparables las poblaciones de nematodos evaluadas entre la madre y el hijo de sucesión y las tomadas en otros sitios. En nuestro estudio la complejidad de los sistemas no permitió realizar el muestreo entre el hijo de sucesión y la planta madre, sino que se muestreó varios puntos alrededor de la planta madre. Por lo tanto, no son comparables nuestros resultados con otros de la literatura.

Las medias de densidad poblacional de *Helicotylenchus* fueron diferentes significativamente ($p \leq 0.05$) en la localidad de Palmares (Cuadro 7). Hubo interacción significativa entre localidades y sistemas de cultivo ($p \leq 0.01$). El sistema convencional sombra de árboles y banano presentó mayor abundancia de este nematodo en comparación con el sistema orgánico con sombra de árboles y banano. Sin embargo, en Atenas ambos sistemas presentaron medias similares. Además, fue evidente que en Santa Bárbara la densidad poblacional fue menor que en las otras localidades. Demostrándose, que hay efecto de localidad sobre la abundancia de este nematodo.

Cuadro 7 Densidad poblacional de *Helicotylenchus* sp. en 10 gr de raíz de banano por sistema de cultivo y localidad

Localidad	SB	OB
Atenas	221.0 A	205.5 A
Palmares	717.3 B	967.3 A
Santa Bárbara	-	14.3

SB: convencional con sombra de árboles y con bananos, OB: orgánico con sombra de árboles y con bananos

A pesar de que las medias de *Meloidogyne* fueron significativamente diferentes ($p \leq 0.05$) entre sistemas de cultivo (Cuadro 8). No hay una tendencia clara, porque el sistema orgánico con banano tiene mayor densidad en Atenas pero no en Palmares. Si es evidente que en Santa Bárbara la abundancia de este nematodo fue mayor que en las otras localidades. Contrario a lo observado para *Pratylenchus*. También, hubo interacción significativa ($p \leq 0.01$) entre localidades y sistemas de cultivo.

Cuadro 8 Densidad poblacional de *Meloidogyne* spp. en 10 gr de raíz de banano por sistema de cultivo y localidad

Localidad	SB	OB
Atenas	20.3 B	47.3 A
Palmares	24.0 A	25.3 A
Santa Bárbara	-	92.0

SB: convencional con sombra de árboles y con bananos, OB: orgánico con sombra de árboles y con bananos

3.3.3 Relación entre la densidad de nematodos fitoparásitos de café y variables agroecológicas

3.3.3.1 Categorización y selección de variables

La densidad de *Meloidogyne* spp y *Pratylenchus* sp se categorizó en baja, media y alta. Las categorías realizadas para *Meloidogyne* fueron: baja (0 - 496), media (496 – 1872) y alta

(1872 – 14260) densidades por 10 g de raíz. Las categorías realizadas para *Pratylenchus* fueron: baja (0 – 30), media (30 – 120) y alta (120 – 1032) densidades por 10 g de raíz. Las categorías realizadas para las variables agroecológicas se muestran en el cuadro 8.

Las variables seleccionadas se muestran en el cuadro 8, identificadas por asteriscos. Las variables seleccionadas por su alta relación con las categorías de *Meloidogyne* spp ($p \leq 0.06$) fueron: altitud, lluvia, contenido en suelo de arena, calcio, magnesio y fósforo, porcentaje de sombra sobre el café, número anual de deshierbas manuales, aplicaciones de insecticidas, fertilizantes, nematicidas y fungicidas, podas a los árboles de sombra y tipo de poda al café. Las variables relacionadas significativamente ($p \leq 0.06$) con las categorías de *Pratylenchus* sp fueron: porcentaje de pendiente, altitud, lluvia, contenido en el suelo de arena, arcilla, potasio, calcio, magnesio y manganeso, presencia de bananos, número de aplicaciones anuales de fungicidas, practicas al suelo, distancia entre calles y edad de plantación.

Cuadro 9 Categorización de variables y resultados de la prueba X^2 de independencia realizada entre las categorías de *Pratylenchus* y *Meloidogyne* y las variables agroecológicas

Tipo de variable	Variables ^a	Categorías				Prueba X^2	
		1	2	3	4	Mel	Praty
Nematodos fitoparásitos	Mel	[0 - 496]	[496 - 1872]	[1872 - 14260]		-	-
	Praty	[0 - 30]	[30 - 120]	[120 - 1032]		-	-
	Fito	[10 - 608]	[608 - 1992]	[1992 - 14340]		-	-
Ambiente	Pen	[8- 25]	[25-42]	[42 - 75]		4,8	10,8*
	Alt	[900]	[1060]	[1150]	[1175]	20,1*	34,9**
	Llu	[567.42]	[689]	[1248]		19,8*	31,1**
Suelo	Arena	[18 - 30]	[30 - 40]	[40 - 52]		8,7*	30,4**
	Limo	[24 - 31.9]	[31.9 - 35.8]	[35.8 - 49.8]		5,7	2
	Arcilla	[10 - 26.6]	[26.6 - 38.2]	[38.2 - 54.1]		6,9	20,4*
	pH	[4.24 - 4.75]	[4.75 - 5.12]	[5.12 - 6.94]		4,8	8,4
	Acidez	[0.04 - 0.70]	[0.70 - 2.39]	[2.39 - 4.81]	[4.81 - 12.32]	10,3	10,2
	K	[0.24 - 0.48]	[0.48 - 0.75]	[0.75 - 2.66]		4,07	10,2*
	Ca	[0.32 - 4.59]	[4.59 - 9.81]	[9.81 - 18.68]		10,5*	22,5*
	Mg	[0.19 - 1.71]	[1.71 - 3.67]	[3.67 - 7.88]		12,9*	27,4**
	P	[3.9 - 18]	[19.40 - 54]	[54 - 692]		11*	6,6

Características de especies asociadas al cultivo de café	Fe	[28 - 157]	[157 - 249]	[249 - 498]		7,5	10
	Cu	[10 - 15]	[15 - 20]	[20 - 36]		8,4	6,3
	Mn	[1.9 - 12.8]	[12.8 - 24.8]	[24.8 - 73.6]		4	21,4*
	Zn	[0.9 - 2.4]	[2.4 - 3.8]	[3.8 - 5.7]	[5.7 - 27.7]	11,2	8,3
	S	[0]	[25.9 - 59.7]	[59.7 - 68.89]	[68.89 - 87.9]	20,2*	6,4
	PSH	[174.08 - 495.65]	[495.65 - 767.73]	[767.73 - 2112.06]		6,6	6,7
	C/N	[13.83 - 16.89]	[16.88 - 18.13]	[18.13 - 29.42]		7,2	1,9
	BA	[0]	[3 - 4]	[5 - 8]		2,1	8,8*
	Arp	[0]	[1 - 2]	[3 - 5]		5,9	6,4
	Arg	[0]	[1 - 3]	[4 - 7]	[8 - 11]	5,6	2,9
Manejo de la plantación	LEG	[Si]	[No]			0,6	2,6
	HER	[0]	[2]	[3]		6,5	2,9
	DESH	[0]	[2]	[3-4]		14,3*	13,5
	FER	[1]	[2]			6,1*	4,4
	INS	[0]	[1]	[2]		11,3*	4
	NEM	[0]	[1]			10*	3,7
	FUN	[0]	[1]	[2-3]		17,5*	26,1**
	PRAS	[0]	[1]			1,2	7*
	PODs	[0]	[1]	[2]		10,6*	14,1
	TFER	[Org]	[Quim]	[Org+Quim]		7,5	0,87
	TPRA	[Ning.]	[Gavetas]	[Conser.]	[Curvas]	8,4	13,7*
	PODc	[Sin]	[Bloque]	[Planta]		15,7*	6,8
	DEP	[58.8 -79]	[79 - 88.4]	[88.4 - 115]		4,8	4,3
	DEC	[72 -129]	[129 -157]	[157 -219.6]		4,2	16,8*
Características de la plantación de café	PFr	[41.09- 163.96]	[163.96 - 241.4]	[241.4 - 450.33]		2,1	7,1
	AT	[112 -164]	[164 -230]	[230 -304]		19,2	2,1
	EDAD	[20 -25]	[25 -40]	[40 - 60]		5,3	8,8*

^{a.} Observar cuadro 3 para explicación de los códigos

*P ≤ 0.06; ** P ≤ 0.01

3.3.3.2 Análisis de correspondencias

Los gráficos de los análisis de correspondencias entre las categorías de nematodos fitoparásitos y las categorías de variables agroecológicas seleccionadas se presentan en las figuras 4a, b, c, d y e.

En la figura 4a se muestra las categorías de *Meloidogyne* y *Pratylenchus* en relación con las categorías ambientales. Se puede observar que las categorías de *Meloidogyne* y *Pratylenchus* se distribuyen de manera creciente a lo largo del eje X, es decir se ubican de primero las categorías de densidades más bajas de estos nematodos (Mel1 y Praty1), luego se encuentran las categorías de densidades intermedias (Mel2 y Praty2) y de último las categorías de densidades más altas (Mel3 y Praty3). Esta tendencia indica que ambos responden de manera similar a las variables ambientales. Pero, la categoría de mayor densidad de *Meloidogyne* (Mel3) se encontró en condiciones de menor altitud y lluvia que la categoría más alta de *Pratylenchus* (Praty3). En la localidad de mayor altitud y lluvia (Santa Bárbara) se encontró mayor densidad de *Pratylenchus* que de *Meloidogyne*. Existe coincidencia entre algunos autores en que la mayor abundancia de *Meloidogyne* se encuentra a una menor altitud (Pinochet *et al.* 1986; Villain *et al.* 1999; Souza y Bressan-Smith 2008; Avelino *et al.* 2009) y que la mayor población de *Pratylenchus* se ubica a mayores altitudes (1200 a 1400 msnm) (Avelino *et al.* 2009), lo que coincide con nuestros resultados. En cuanto a la lluvia existen trabajos que indican que a una mayor cantidad de precipitación se encuentran mayores poblaciones de *Meloidogyne* (Villain *et al.* 1999). Pero, otros escritos indican que las mayores poblaciones se encuentran en condiciones más secas (Pinochet *et al.* 1986; Souza y Bressan-Smith 2008). Con respecto a *Pratylenchus* algunos autores relacionan la menor abundancia de este con menor cantidad de lluvia (Avelino *et al.* 2009; Duyck *et al.* 2012). Pero, otros indican lo contrario, debido a que han observado mayor población de *Pratylenchus* en época seca e inicios de la estación lluviosa (Quénéhervé 1989; Villain *et al.* 1999; Inomoto y Oliveira 2008). Con el aumento de la lluvia se ha observado un decrecimiento fuerte de la población, atribuido según Inomoto y Oliveira (2008) a un decaimiento en la cantidad de raíces sanas por la pudrición normal que ocurre en estas cuando hay mucha lluvia. Se debe de considerar que el registro de lluvia de nuestro trabajo es únicamente de la época seca, lo que es distinto a los trabajos citados que fueron realizados en diferentes épocas. Los resultados de este trabajo indican que a más lluvia en época seca la población de nematodos fue mayor, especialmente *Pratylenchus*. Esto podría explicarse porque al tener más lluvia en esa época posiblemente el ciclo fenológico de las plantas se adelantó y con ello el crecimiento de raíces y por los tanto de nematodos.

En la figura 4b se muestra la relación entre las categorías de *Meloidogyne*, *Pratylenchus* y categorías de variables de suelo. Se observó que la baja e intermedia densidad de ambos nematodos se relaciona con condiciones de suelo similares, tales como menor porcentaje de arena, mayor porcentaje de arcilla y mayor contenido de calcio, potasio, magnesio y manganeso. Pero, las mayores abundancias de *Meloidogyne* y *Pratylenchus* no respondieron igual a las características de suelo. La mayor densidad de *Meloidogyne* se encontró en suelos con cantidades medias a altas de arcilla y de elementos, condición frecuente en las localidades

de Atenas y Palmares y la mayor densidad de *Pratylenchus* se determinó en suelos con mayor cantidad de arena y menor contenido de magnesio, manganeso y calcio, estas características de suelo se encuentran principalmente en Santa Bárbara. Los resultados de *Pratylenchus* son iguales a los encontrados por varios autores Endo (1959) citado por (Inomoto y Oliveira 2008) encontró mayor cantidad de este nematodo en suelos arenosos que en suelos arcillosos. Duck *et al* (2012) observaron que *P. coffeae* es abundante en ferrosoles, pero ausente en vertisoles y nitisoles. Posiblemente, este nematodo necesita que los poros del suelo tengan diámetros de entre 30 – 300 μm con películas de agua para moverse, situación que ocurre en los ferrosoles pero no en vertisoles. En laboratorio, Olowe y Corbett (1976) determinaron que *Pratylenchus* se desplaza mejor en partículas de arena con tamaños entre 0.375 a 0.750 mm en comparación con partículas pequeñas (0.096 a 0.300 mm). Pero los resultados de *Meloidogyne* no coinciden con los encontrados en la literatura. Existe coincidencia entre varios autores en que un mayor porcentaje de arena se relaciona con mayor abundancia de *Meloidogyne* (Prot y Gundy 1981; Avelino *et al.* 2009; Fujimoto *et al.* 2010). Esto se explica porque los poros más grandes que existen en los suelos arenosos permiten que este nematodo se desplace (Fujimoto *et al.* 2010). Lo observado sugiere que existen otras variables agroecológicas que tienen una relación más importante con la abundancia de *Meloidogyne*, como se explicó anteriormente la altitud es una de ellas.

En la figura 4c se representa la relación entre las categorías de densidad de *Meloidogyne* y las categorías de porcentaje de sombra. Se puede observar que la menor abundancia de este nematodo (Mel1) estaba estrechamente relacionada con el mayor porcentaje de sombra (SO4) y la mayor abundancia de *Meloidogyne* (Mel3) se relacionó con el menor porcentaje de sombra (SO2) o ausencia de sombra (SO1). De estos resultados se interpreta que la sombra es un factor importante para la abundancia de *Meloidogyne*. No existen muchos trabajos que indiquen sobre la relación entre *Meloidogyne* y el porcentaje de sombra. Sin embargo, siempre han existido suposiciones al respecto, Villain *et al* (1999) indicaron que los árboles de sombra podrían favorecer, por diferentes mecanismos, una menor población de nematodos fitoparásitos en el café. Por otra parte, Herrera (2011) encontró mayor cantidad de *Meloidogyne* en plantaciones a pleno sol en comparación a cultivos orgánicos con sombra. Estos resultados pueden ser mejor explicados por los requerimientos de temperatura que tienen las especies de nematodos fitoparásitos más comunes en el cultivo de café. *M. exigua* y *M. incognita* se desarrollan mejor a altas temperaturas (Souza y Bressan-Smith 2008). También, se supone que en condiciones de mayor exposición al sol de las plantas de café se presentan cambios fisiológicos, en estas plantas, los cuales podrían conducir a una mayor abundancia de *Meloidogyne* spp.

En la figura 4c también, se muestra la relación entre las categorías de densidad de *Pratylenchus* y las categorías de cantidad de plantas de banano en las parcelas. Se observa que la mayor cantidad de bananos (BA2 y BA3) se relaciona con la menor abundancia de *Pratylenchus* (Praty1).

La figura 4d representa la relación entre las categorías de nematodos fitoparásitos y prácticas agrícolas. Se nota que la mayor abundancia de *Meloidogyne* se relacionó principalmente con realizar mayor cantidad de podas a los árboles de sombra y con efectuar mayor número de fertilizaciones anuales. Por otra parte, la mayor abundancia de *Pratylenchus* fue dependiente de realizar mayor número de fertilizaciones y de ciertas prácticas como hacer gavetas. La relación entre el aumento en la intensificación de prácticas agrícolas y mayor abundancia de ambos géneros de nematodos no está claramente explicada. Villain *et al* (1999) han mencionado que la mayor intensificación del manejo de los cafetales podría ocasionar un desequilibrio en la fauna del suelo desencadenando en un aumento en la población de nematodos fitoparásitos. Sánchez-Moreno y Ferris (2007) han evidenciado que la capacidad de supresión natural hacia los nematodos fitoparásitos que existe en ambientes poco disturbados se ve drásticamente disminuida en los sistemas agrícolas, posiblemente por la disturbación que se ha realizado en ellos.

Por último en la figura 4e se puede observar que la mayor abundancia de *Pratylenchus* se relacionó con una mayor edad de la plantación de café.

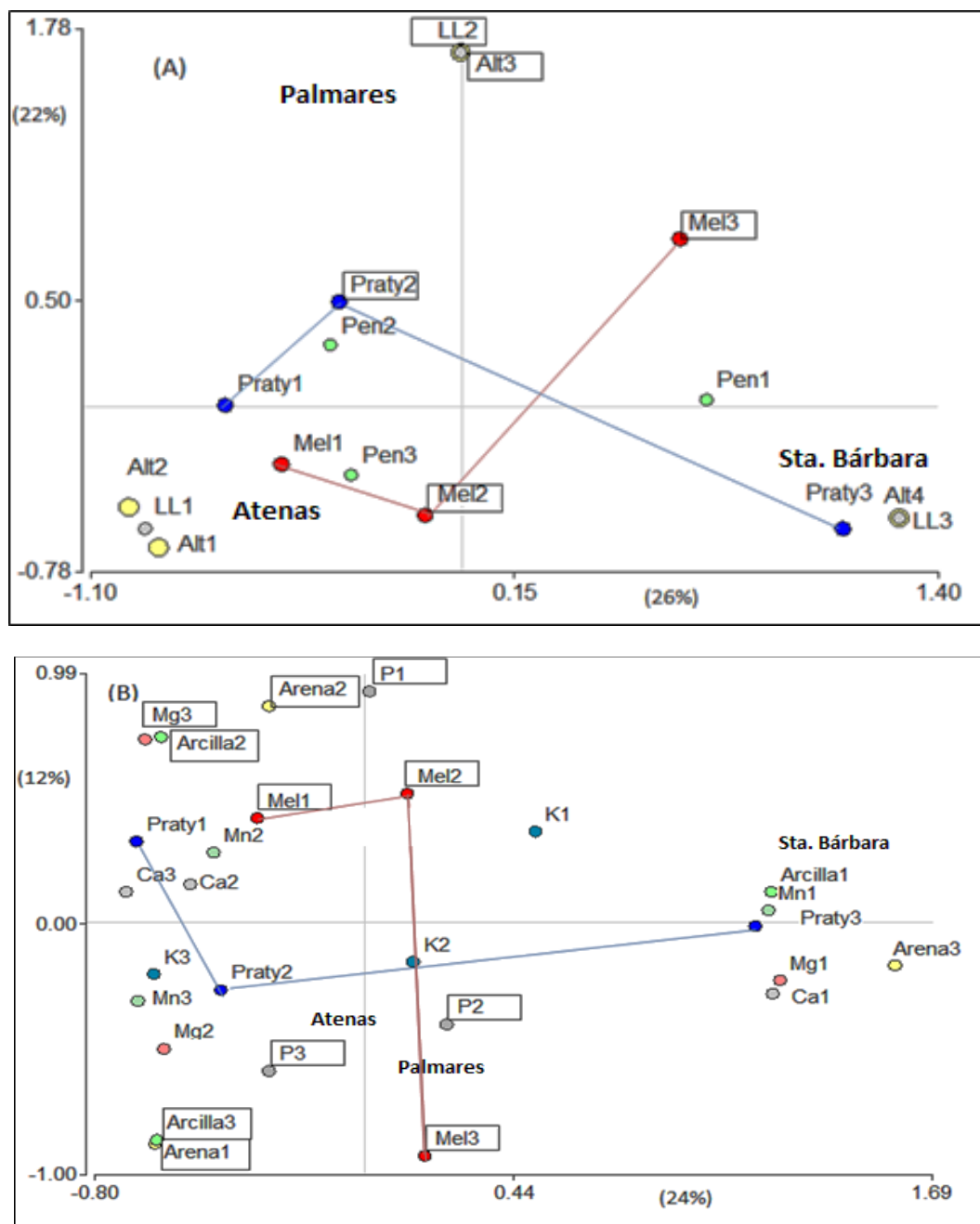
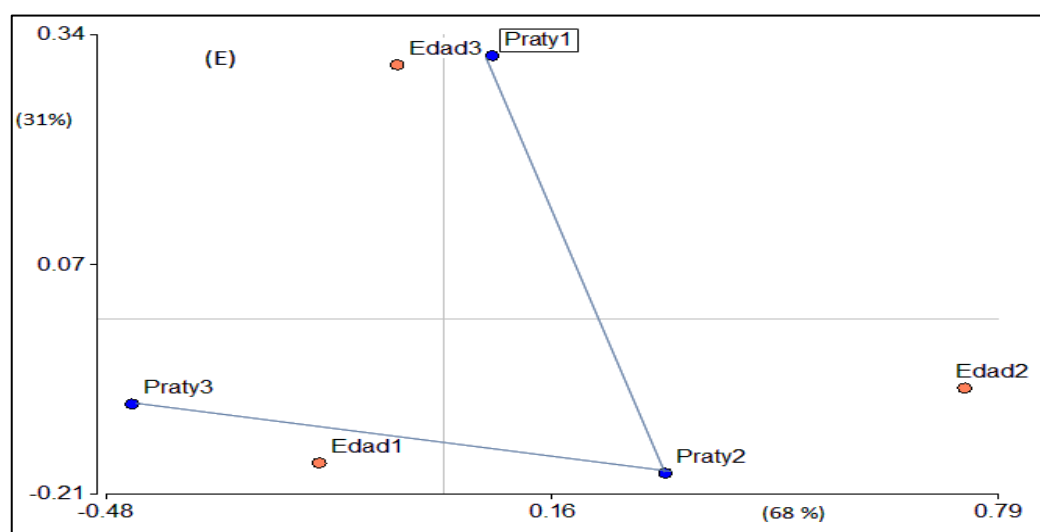
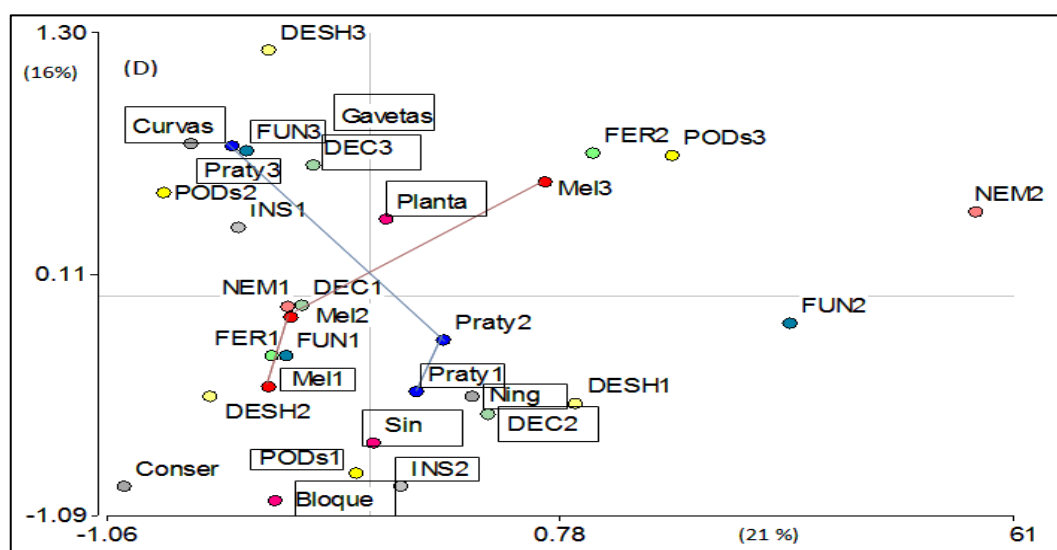
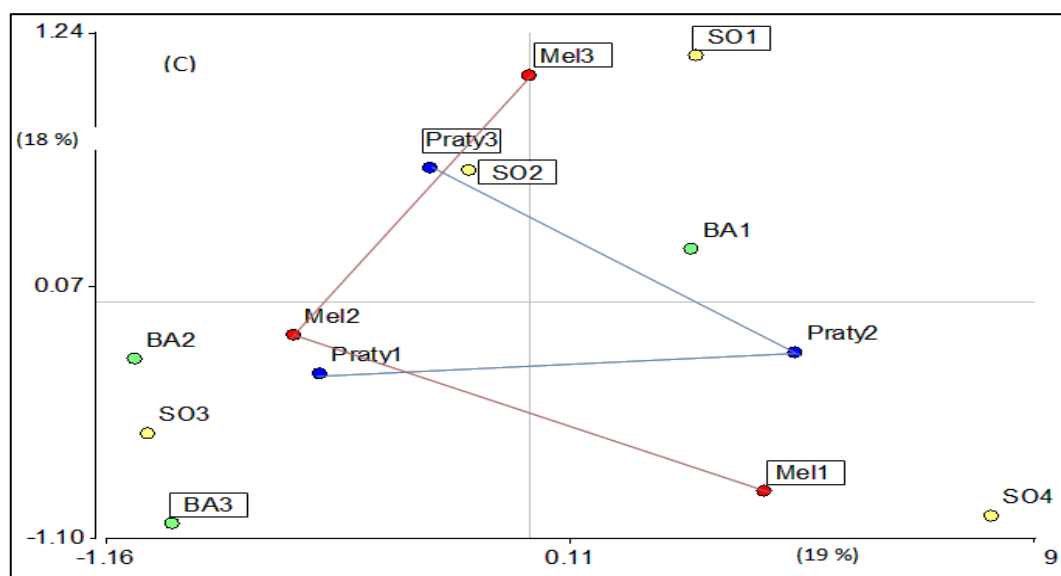


Figura 4. Representación gráfica de los primeros dos ejes del análisis de correspondencia realizado de tablas de contingencia donde el ambiente (A), suelo (B), características de especies asociadas al cultivo (C), manejo de la plantación (D) y características de la plantación (E) están filas y las categorías de nematodos están en columnas. Categorías de *Meloidogyne* sp.: Mel1 (0 – 496), Mel2 (496 – 1872), Mel 3 (1872 – 14260). Categorías de *Pratylenchus* spp.: Praty1 (0 – 30), Praty2 (30 – 120), Praty3 (120 – 1032). Densidades expresadas por 10 g de raíces de café. Solo las categorías de variables más relacionadas son representadas. Porcentajes indican la proporción de la inercia explicada en cada eje. Observar cuadro 9 para la explicación de códigos de categorías.



Continuación de figura 4

3.4 Conclusiones y recomendaciones

Los sistemas de cultivo no tuvieron un efecto claro sobre los fitoparásitos, debido a que existen variables agroecológicas (altitud, tipo de suelo, porcentaje de sombra), que tienen un efecto importante. Además, pruebas de PCR y diseños perineales sugieren que existen varias especies de *Meloidogyne* en las fincas muestreadas, lo que podría crear más confusión en los resultados.

El manejo de la sombra de árboles en el cafetal es muy importante. El mayor porcentaje de sombra puede ser favorable para tener menor abundancia de *Meloidogyne* spp, que es el nematodo que causa más problemas en el cultivo de café en Costa Rica.

Como nueva línea de investigación se recomienda determinar el efecto del porcentaje de sombra sobre nematodos fitoparásitos en un experimento en condiciones controladas

Literatura citada

- Akhtar, M. 1998. Effects of two Compositae plant species and two types of fertilizer on nematodes in an alluvial soil, India. *Applied Soil Ecology* 10(1):21-25.
- Araya, M; Centeno, M; Carrillo, W. 1995. Densidades poblacionales y frecuencia de los nematodos parasitos del banano (*Musa AAA*) en nueve cantones de Costa Rica. *CORBANA* 20(43):6-11.
- Araya, M. 1998. Comparación de las poblaciones de nematodos en tres puntos de muestreo de la unidad de producción de banano (*Musa AAA*); planta madre, hijo de sucesión y en el intermedio madre-hijo. *CORBANA* 23(49):69-76.
- _____. 2002. Metodología utilizada en el laboratorio de nematología de CORBANA S.A. para la extracción de nematodos de las raíces de banano (*Musa AAA*) y platano (*MusaAAB*). *CORBANA* 28(55):97-110.
- Araya, M. 2004. Los fitonematodos del banano (*Musa AAA* Subgrupo Cavendish cultivares Grande Naine, Valery y Williams) su parasitismo y combate. 84-105 p.
- Avelino, J; Zelaya, H; Merlo, A; Pineda, A; Ordoñez, M; Savary, S. 2006. The intensity of a coffee rust epidemic is dependent on production situations. *Ecological Modelling* 197:431-447.
- Avelino, J; Bouvret, M; Salazar, L; Cilas, C. 2009. Relationships between agro-ecological factors and population densities of *Meloidogyne exigua* and *Pratylenchus coffeae* sensu lato in coffee roots, in Costa Rica. *Applied Soil Ecology* 43:95-105.
- Bagyaraj, D; Manjunath, A; Reddy, D. 1979. Interaction of vesicular arbuscular mycorrhiza with root knot nematodes in tomato. *Plant and Soil* 51(3):397-403.
- Balmaceda, M; Cruz, S. 1998. Comportamiento de nemátodos fitoparásitos asociados a diferentes sistemas de manejo de café, Masatepe, Masaya. Tesis de Licenciatura, Universidad Centroamericana, Facultad de Ciencia Agropecuaria Carrera de Ecología y Recursos Naturales.
- Bertrand, B; Rapidel, B. 1999. Desafíos de la caficultura en Centroamérica. *Agroamerica*.
- Campos, V; Sivapalan, P; Gnanapragasam, N. 1990. Nematode parasites of coffee, cocoa and tea. In Luc, M; Sikora, R; Bridje, J. eds. 1990. *Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture*. CAB International. 387-430 p.
- Campos, V; Villain, L. 2005. Nematode Parasites of Coffee and Cocoa. In Luc, M; Sikora, R; Bridje, J. eds. 2005. *Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture*.
- Carcache, M. 2002. Microorganismos no patógenos predominantes en la filosfera y rizosfera del café y su relación sobre la incidencia de enfermedades foliares y población de nematodos fitopatógenos en los sistemas convencional y orgánico. Magister. Turrialba, Costa Rica, CATIE.
- Cason, KT; Hussey, R; Roncadori, R. 1983. Interaction of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus with *Meloidogyne incognita* on tomato. *Journal of Nematology* 15(3):410.
- Cooper, K; Grandisons, G. 1986. Interaction of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and root knot nematode on cultivars of tomato and white clover susceptible to *Meloidogyne hapla*. *Annals of applied Biology* 108(3):555-565.
- Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Balzarini, MG; Gonzalez, L; Tablada, M; Robledo, CW. 2011. InfoStat. Disponible en <http://www.infostat.com.ar/>

- Duyck, P; Dortel, E; Tixier, P; Vinatier, F; Loubana, P; Chabrier, C; Quénéhervé, P. 2012. Niche partitioning based on soil type and climate at the landscape scale in a community of plant-feeding nematodes. *Soil Biology and Biochemistry* 44:49-55.
- Endo, B. 1959. Response of root lesion nematodes, *Pratylenchus brachyurus* and *P. zaei* to various plants and soil types. *Phytopathology* 49:417-421.
- Fujimoto, T; Hasegawa, S; Otobe, K; Mizukubo, T. 2010. The effect of soil water flow and soil properties on the motility of second-stage juveniles of the root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*). *Soil Biology and Biochemistry* 42(7):1065-1072.
- García, J. 2012. Densidad y diversidad de nematodos en sistemas agroforestales de café en asocio con bananos y sombra de leguminosas en Jinotega, Nicaragua. Magister. Turrialba, CR, CATIE.
- Gowen, S; Quénéhervé, P; Fogain, R. 2005. Nematode parasites of bananas and plantains. *In* Luc, M; Sikora, R; Bridje, J. eds. 2005. Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture.
- Guzmán-Piedrahita, O. 2011a. Importancia de los nematodos espiral, *Helicotylenchus multicinctus* (Cobb) Sher, en banano y plátano. *Agronomía* 19(2):19 - 32.
- _____. 2011b. El nematodo Barrenador (*Radopholus similis* [Cobb] Thorne) del banano y plátano. *Revista Luna Azul* 32:137-153.
- Herrera, I. 2011. Root-knot nematodes and coffee in Nicaragua: Management systems, species Identification and genetic diversity. Doctoral Swedish, Swedish University of Agricultural Sciences. 57 p.
- Herve, G; Bertrand, B; Villain, L; Licardie, D; Cilas, C. 2005. Distribution analyses of *Meloidogyne* spp and *Pratylenchus coffeae* sensu lato in coffee plots in Costa Rica and Guatemala. *Plant Pathology* 54:471-475.
- ICAFE. 2013. Sitio oficial ICAFE. Consultado 13/10/2013
- Inomoto, M; Oliveira, C. 2008. Coffee-Associated *Pratylenchus* spp. – Ecology and Interactions with Plants. *In* Souza, R. ed. 2008. Plant-Parasitic Nematodes of Coffee. Springer.
- Lemmon, P. 1956. A spherical densiometer for estimating forest overstory density. *Forest Science* 2(1):314-320.
- Luc, M; Sikora, R; Bridje, J. 2005. Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture. 2. CABI. 918.
- Miranda, A. 1989. Consideraciones para uniformar los resultados de una análisis químico de suelo. IICA, Guatemala.
- Moens, T; Araya, M; Swennen, R; De Waele, D. 2006. Reproduction and pathogenicity of *Helicotylenchus multicinctus*, *Meloidogyne incognita* and *Pratylenchus coffeae*, and their interaction with *Radopholus similis* on *Musa*. *Nematology* 8(1):45-58.
- Olowe, T; Corbett, D. 1976. Aspects of the biology of *Pratylenchus brachyurus* and *P. zaei*. *Nematologica* 22(2):202-211.
- Pinochet, J; Ventura, O. 1980. Nematodes associated with agricultural crops in Honduras. *Turrialba* 30(1):43-47.
- Pinochet, J; Cordero, D; Berrocal, A. 1986. Fluctuación estacional de poblaciones de nematodos en dos cafetales en Panamá. *Revista Interamericana de Ciencias Agrícolas* 36(2):149-156.
- Pinochet, J; Guzman, R. 1987. Nemátodos asociados a cultivos agrícolas en El Salvador: su importancia y manejo. *Turrialba (Costa Rica)*.(Abr-Jun 37(2):137-146.
- Prot, J; Gundy, S. 1981. Effect of Soil Texture and the Clay Component on Migration of *Meloidogyne incognita* Second-stage Juveniles. *Journal of Nematology* 13(2):213-218.

- Quénéhervé, P. 1989. Population of nematodes in soils under banana cv. Poyo; seasonal dynamics of populations in mineral soils. *Revue Nématol.* 12(2):149-160.
- Romero, A. 2010. Efecto de los sistemas agroforestales del café y del contexto del paisaje sobre la roya, (*Hemileia vastatrix*), broca (*Hypothenemus hampei*) (Ferrari) y los nematodos *Meloidogyne* spp.), con diferentes certificaciones en la provincia de Cartago, Costa Rica. Magister. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 75 p.
- Samayoa-Juarez, J. 1999. Desarrollo de enfermedades en café bajo manejo orgánico y convencional en Paraíso, Costa Rica. Thesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 69p.
- Siddiqi, M. 2000. Morphological characters and taxonomic methods. *In* Siddiqi, M. ed. 2000. *Tylenchida: parasites of plants and insects.* 37-85 p.
- Souza, R; Bressan-Smith, R. 2008. Coffee-associated *Meloidogyne* spp.-Ecology and interaction with plants. *In* Souza, R. ed. 2008. *Plant-parasitic nematodes of coffee.* Springer. p. 7.
- Tronconi, N; Ferraz, S; Santos, J; Regazzi, A. 1986. Influencia da temperatura na patogenicidade e reproducao de *Meloidogyne exigua* em mudas de cafeeiro. *Nematologia Brasileira* 10:69-83.
- Villain, L; Anzueto, F; Hernández, A; Sarah, J. 1999. Los Nematodos Parásitos del Cafeto. *In* Bertrand, B; Rapidel, B. eds. 1999. *Desafíos de la caficultura en Centroamérica.* San José, Costa Rica, Agroamerica.
- Villain, L. 2008. Plant-Parasitic nematodes of coffee ; economic importance, epidemiology and management of *Pratylenchus* in coffee plantations. *In* Souza, R. ed. 2008. *Plant-parasitic nematodes of coffee.* Springer.
- Zadoks, JC; Schein, RD. 1979. Epidemiology and plant disease management. *Epidemiology and plant disease management.*

4. ARTICULO II

DENSIDAD Y DIVERSIDAD DE NEMATODOS DE SUELO EN EL CULTIVO DE CAFÉ

María Emérita Chaves, Jacques Avelino,

Alejandro Esquivel, Howard Ferris,

Gabriela Soto, Charles Staver

RESUMEN

Los nematodos proveen servicios claves en el suelo, como lo son la supresión de patógenos de plantas y el mantenimiento de la fertilidad. Los nematodos son buenos indicadores de la estructura y función de la fauna del suelo y a partir de su estudio se puede inferir el estado de la cadena alimenticia del suelo. Es importante conocer la fauna de nematodos de suelo en sistemas de cultivo de café debido a que históricamente se ha cultivado con diferente intensidad en cuanto a sombra, uso plaguicidas y prácticas agrícola, pero, se ha estudiado poco sobre cómo podría estar afectando la cadena alimenticia del suelo. Este trabajo se realizó con la finalidad de conocer la densidad, diversidad e índices ecológicos de nematodos de suelo en diferentes sistemas de cultivo de café y la relación con nematodos fitoparásitos del cultivo y variables de manejo. En el Valle Central y Valle Occidental de Costa Rica se estableció un total de sesenta parcelas comerciales de café de diferentes tipos de sistemas: pleno sol (PS), convencional con (SB) o sin banano (SS), orgánico con (OB) o sin banano (OS). Se cuantificó la fauna de nematodos de suelo, la densidad de nematodos fitoparásitos en raíces de café y características del manejo del cultivo. Se calculó la densidad total de nematodos de suelo, se clasificó la fauna de nematodos en grupos tróficos y se obtuvieron índices ecológicos como el índice de enriquecimiento (EI), índice de estructura (SI), índice basal (BI) e índice de canal (ChI). La densidad total de nematodos de suelo y los índices se compararon entre tipos de sistemas por pruebas LSD. Se categorizaron los nematodos de suelo (densidades totales e índices), nematodos fitoparásitos de café y características del manejo del cultivo. Por medio de tablas de contingencia, pruebas de Chi- cuadrado y análisis de correspondencias se determinó la asociación entre las variables categorizadas. Los grupos tróficos más abundantes fueron fitoparásitos y bacteriófagos. La densidad total de nematodos de suelo no se diferenció claramente entre sistemas de cultivo. La diversidad de nematodos si difirió entre sistemas de cultivo. Los bacteriófagos fueron más abundantes en sistemas orgánicos. Los omnívoros fueron menos abundantes en el sistema pleno sol. Los índices ecológicos de nematodos se asociaron, principalmente, al manejo de las especies asociadas al cultivo de café. El mayor porcentaje de sombra (68.8 - 87.9) se asoció a mayor índice de enriquecimiento (76.5 - 97.5) y mayor índice de estructura (72.4 - 90). Ausencia de sombra (PS) se relacionó con mayor índice basal (40.8 - 70.6) y mayor índice de canal (31.7 - 100). La presencia de mayor número

de plantas de banano en el cafetal (5 – 8 plantas/ parcela) se asoció a mayor índice de enriquecimiento y de estructura. La aplicación de abonos orgánicos se relacionó con mayor índice de enriquecimiento (76.5 - 97.5). No se encontró relación entre los nematodos fitoparásitos de raíces de café y los índices de nematodos de suelo. En base en los resultados se puede inferir que la mayor provisión de sombra en el cultivo de café, la presencia de plantas asociadas (banano) y la aplicación de abonos orgánicos puede conducir a una mejor función de la cadena alimenticia del suelo y mejor mantenimiento de la fertilidad.

Palabras clave: Cadena trófica del suelo, sombra, nematodos fitoparásitos

4.1 Introducción

Los nematodos son los metazoos más abundantes del planeta, se encuentran en una cantidad inmensa de hábitats. Son organismos principalmente acuáticos y viven entre las láminas de agua que hay entre las partículas de suelo. Los nematodos tienen importantes funciones en el suelo. Algunos se alimentan de plantas, otros de hongos o bacterias, otros son carnívoros u omnívoros (Bongers y Ferris 1999). La diversidad de nematodos permite la regulación de poblaciones de bacterias, hongos y patógenos de plantas. La función más importante de los nematodos en el suelo es mantener la fertilidad mediante el uso y movilización de nutrientes (Procter 1990). Los nematodos tienen ciclos de vida de unas pocas horas o días, están en contacto directo con la solución acuosa del suelo y se alimentan de una gran variedad de organismos (Yeates *et al.* 1993). Por esto son buenos indicadores de la disturbación del suelo. La abundancia y diversidad de nematodos son indicadores de la estructura de la fauna del suelo (complejidad, conectividad y abundancia) y de su función (Bongers y Ferris 1999). Algunos índices se han desarrollado para analizar la fauna de nematodos (Ferris *et al.* 2001; Berkelmans *et al.* 2003). Estos son los índices de enriquecimiento (EI), basal (BI), estructura (SI) y de canal (ChI). El índice de enriquecimiento presenta valores altos cuando los recursos de fácil descomposición están disponibles; el aumento de recursos lábiles produce un aumento en la población de bacterias y esto es seguido por un aumento en la población de bacteriófagos razón para el aumento del índice de enriquecimiento. Valores altos de índice basal indican que la cadena alimenticia está disminuida por condiciones de estrés (recursos limitados, contaminación o condiciones ambientales adversas). El índice de estructura alto indica abundancia de predadores u omnívoros. El índice de canal indica que vía de descomposición predomina en el sistema, si es bajo es por bacterias y si es alto es por hongos (Ferris *et al.* 2001).

En Costa Rica existen diferentes sistemas de cultivo de café. Pueden observarse cafetales a pleno sol, con sombras de diferentes tipos de árboles y musáceas, especialmente banano; además, después de la crisis de precios de los 90's y con las nuevas tendencias de consumo de productos sostenibles se han establecido plantaciones orgánicas (Villain *et al.* 1999).

El tipo de sistema de cultivo puede afectar la densidad y diversidad de nematodos. En general las poblaciones decrecen por la aplicación de plaguicidas (Timper *et al.* 2012), (Sánchez-Moreno y Ferris 2007). La aplicación de abonos orgánicos incrementa la abundancia total de nematodos de suelo (Liang *et al.* 2009). Algunos grupos específicos como los bacteriófagos

aumentan con la aplicación de abonos orgánicos, pero disminuyen con la aplicación de fertilizantes inorgánicos (Li *et al.* 2010). Sin embargo, es poca la información que existe acerca del efecto del tipo de sistema de cultivo de café sobre la fauna de nematodos de suelo.

El objetivo de este trabajo fue conocer la densidad y diversidad de nematodos de suelo en diferentes sistemas de cultivo de café y calcular los índices ecológicos de nematodos así como la relación de estos con otras variables agroecológicas.

4.2 Materiales y métodos

4.2.1 Descripción del área de estudio

Este estudio se realizó en las regiones cafetaleras Valle Central y Valle Occidental de Costa Rica. La región cafetalera del Valle Central tiene estaciones seca y lluviosa bien definidas, suelos de origen volcánico y el 84 % de sus cafetales se encuentra a más de 1200 msnm. El Valle Occidental es muy similar al Central en cuanto a clima y suelo, con la diferencia que los rangos altitudinales son mayores, se pueden encontrar plantaciones de los 800 a los 1400 msnm (Icafe 2013). Las localidades donde se realizó el estudio fueron: Atenas, Palmares y Santa Bárbara de Heredia (Cuadro 9).

Cuadro 10 Acumulado de lluvia y altitud media de las localidades estudiadas

Zona	Localidades	Lluvia (mm) ^a	Altitud (msnm)
Valle Occidental	Atenas	567	900 – 1200
	Palmares	689	1150
Valle Central	Santa Bárbara	1248	1175

a. Lluvia acumulada de Enero a Junio del 2013

4.2.2 Sistemas de cultivo

Con la finalidad de estudiar sistemas de cultivo de café comunes en Costa Rica se evaluaron los siguientes cinco tipos PS: fincas convencionales de café sin ningún tipo de sombra; SS: fincas de café convencional con sombra de árboles pero sin sombra de banano; SB: fincas de café convencional con sombra de árboles y de banano; OS: fincas de café orgánico con sombra de árboles pero sin sombra de banano; OB: fincas de café orgánico con sombra de árboles y de banano. En todos los casos se evaluó plantaciones de café con más de 20 años de edad de la variedad Caturra o Catuaí. Los sistemas orgánicos estaban certificados.

En cada localidad se intentó estudiar los cinco tipos de sistemas y con la menor distancia entre estos para evitar variabilidad en suelo y clima dentro de las localidades. Sin embargo, en Palmares y en Santa Bárbara no fue posible encontrar fincas PS y SB, cercanas al área de estudio. Siempre se colocó pares de fincas orgánicas y convencionales totalmente contiguas.

4.2.3 Número y delimitación de parcelas

En este estudio se delimitó un total de 60 parcelas comerciales de café. En cada localidad se colocó el número de parcelas por tipo de sistema que fue posible según la disponibilidad de terreno y se intentó abarcar las distintas condiciones agroecológicas de cada localidad (cuadro 11). Cada parcela estaba conformada por 10 filas de café con 10 plantas cada una.

Dentro de cada parcela fueron seleccionados cuatro puntos de muestreo. Estos puntos se eligieron al azar, con la realización de un recorrido en zigzag. Cada punto de muestreo estaba compuesto por cinco plantas de café.

Cuadro 11 Número de parcelas por localidad y sistema de cultivo

Localidad	Sistema	# Parcelas
Atenas	OB	4
	OS	9
	PS	4
	SB	3
	SS	6
Palmares	OB	4
	OS	4
	SB	3
	SS	4
Sta. Bárbara	OB	4
	OS	6
	PS	6
	SS	3

4.2.4 Determinación de la densidad y diversidad de nematodos de suelo

4.2.4.1 Toma de muestras de suelo

En junio del 2013 se tomó una muestra compuesta de suelo en cada parcela. Las submuestras se tomaron de cada una de las cinco plantas de los puntos de muestreo para un total de 20 submuestras. Estas 20 submuestras conformaron la muestra compuesta que se obtuvo para cada parcela. Las submuestras se tomaron bajo la copa de las plantas de café a una profundidad de 20 cm con un barreno tipo holandés. Las muestras compuestas fueron colocadas en bolsas plásticas y en una hielera para evitar cambios bruscos de temperatura, se llevaron rápidamente al laboratorio de nematología de la UNA para su evaluación.

4.2.4.2 Extracción y evaluación de nematodos de suelo

Los nematodos fueron extraídos del suelo mediante el método de elutriación de Oostenbrink (Oostenbrink 1960). El equipo fue lavado completamente antes del proceso de cada muestra. El proceso inició con el llenado del equipo con agua hasta el nivel 1 suministrando una corriente de agua ascendente de 1000 ml/ min. Se colocó 100 g de la muestra compuesta en el tamiz de la parte superior del embudo, se lavó la muestra utilizando una boquilla de aspersión. Se continuó aplicando agua hasta llegar al nivel 2, en este momento la muestra de suelo se lavó completamente y se cerró la boquilla de aspersión. Pocos segundos después de cerrar la boquilla se bajó la velocidad de la corriente de agua a 800 ml/ min. Cuatro tamices (30 cm de diámetro y 45 μ m de tamaño de poro) se colocaron debajo de la salida del embudo. Se humedecieron todos los tamices para evitar su obstrucción. Tan pronto como el agua llegó al nivel tres, se desconectó la corriente de agua y se dejó pasar la suspensión por los cuatro tamices. Se inclinaron levemente los tamices para que la suspensión fluyera fácilmente. Se lavó inmediatamente los restos que quedaron en los tamices en un recipiente plástico. La suspensión se dejó reposando en el recipiente por al menos cinco minutos. Se colocaron dos filtros con un anillo sujetador en un tamiz de extracción (16 cm de diámetro). Se humedecieron los filtros para evitar burbujas de aire. Se colocó el tamiz en una bandeja de decantación llena de agua. Se colocó una pieza circular de vidrio (6 cm de diámetro) sobre los filtros. La suspensión que estaba en el recipiente se vertió cuidadosamente sobre el vidrio. Los últimos 200-300 ml de suspensión se agitaron muy bien y se vertieron rápidamente. Tan pronto como el agua se vertió en el filtro, el tamiz fue levantado y se retiró el anillo que sujetaba los filtros. Un plato de extracción fue colocado en un área libre de vibraciones, el plato contenía aproximadamente 100 ml de agua para mantener el filtro húmedo. Se colocó el tamiz sobre el plato. Después de 24 h el tamiz fue removido y la suspensión de nematodos que quedó en el plato se vertió en un beaker de 100 ml para su análisis.

Después de la extracción, se realizó un conteo del total de nematodos por muestra con un microscopio invertido. Posteriormente, se fijaron las muestras con el uso de formalina caliente. A continuación, se realizó un montaje en masa. Para realizar este montaje cada muestra fue centrifugada, con una pipeta se tomó una alícuota del fondo de la muestra para tomar la mayor cantidad posible de nematodos, la alícuota se colocó en un portaobjetos grande y se puso un cubreobjetos, se realizó un sello para evitar la evaporación de la muestra. Se realizó la identificación con el uso de un microscopio de luz. Se intentó identificar 100 nematodos por muestra a nivel de familia y género, sin embargo en algunas muestras se extrajo menos de 100 nematodos, en esos casos se identificó la cantidad que fue posible extraer. La identificación se realizó en microscopio de luz a un aumento de 40X, con el uso de las claves: Andrassy (1984), Jairajpuri y Ahmad (1992), Hunt (1993).

4.2.4.3 Índices de la comunidad de nematodos

El análisis de la fauna de nematodos en el suelo fue realizado para proveer información acerca de la estructura, estatus y funcionalidad de la cadena alimenticia en el suelo así como la disponibilidad de recursos (Ferris *et al.* 2001; Ferris y Matute 2003; Ferris *et al.* 2004). Para realizar el análisis de la fauna de nematodos se calculó los índices ecológicos. Para esto se le

asignó a cada familia un peso, de acuerdo a su clasificación en los gremios funcionales. (Ferris *et al.* 2001). Los índices ecológicos fueron calculados de la siguiente forma:

$$EI = 100 \times \left(\frac{e}{e + b} \right)$$

$$BI = 100 \times \left(\frac{b}{b + e + s} \right)$$

$$SI = 100 \times \left(\frac{s}{b + s} \right)$$

$$CI = 100 \times 0.8 \times \frac{Fu_2}{3.2 \times Ba_1 + 0.8 \times Fu_2}$$

Dónde: *e* es la abundancia de individuos por gremio en el componente de enriquecimiento, *b* es la abundancia de individuos en el componente basal y *s* es la abundancia de individuos en el componente estructural (Ferris *et al.* 2001; Berkelmans *et al.* 2003; Ferris *et al.* 2004).

4.2.4.4 Análisis de datos

Se calculó medias de densidad total de nematodos de suelo por tipo de sistema de cultivo. Las familias identificadas se clasificaron por grupos tróficos. Posteriormente se calcularon los índices ecológicos de nematodos tal como se explica en la sección 4.2.5. Los datos de índices ecológicos y densidad total de nematodos fueron analizados por medio de análisis de la varianza y prueba LSD, se utilizó la localidad como efecto de bloque. En el caso de la densidad total de nematodos por ser conteos se analizaron como familia Poisson. Todos los análisis se realizaron con el uso del programa InfoStat (Di Rienzo *et al.* 2011). Diferencias < 0.05 se consideraron significativas.

4.2.5 Relación entre índices ecológicos de nematodos de suelo, nematodos fitoparásitos en raíces de café y manejo del cultivo

4.2.5.1 Caracterización agroecológica de parcelas

Con la finalidad de caracterizar el manejo realizado por los agricultores en cada parcela se evaluó algunas variables. Las diferentes variables evaluadas o documentadas mediante entrevistas a los agricultores se muestran en el cuadro 12. Estas fueron evaluadas en junio del 2013, en el mismo momento que se realizó el muestreo de nematodos de suelo. El peso seco y la relación C/N de la hojarasca, se determinó tomando muestras compuestas en cada parcela, posteriormente se analizaron en el laboratorio de suelos del CATIE. Algunos datos relacionados con el manejo del cultivo fueron suministrados por los agricultores: la cantidad anual de aplicaciones de nematicidas, tipo de fertilizante aplicado, tipo de prácticas realizadas al suelo. El porcentaje de sombra fue evaluado en cada punto de muestreo usando un densiómetro esférico (Lemmon 1956).

También fue de nuestro interés relacionar la densidad de nematodos fitoparásitos del café con los índices ecológicos de nematodos de suelo. Para lograr esto se tomó una muestra compuesta de raíces de café en cada parcela, esta muestra se tomó de los mismos puntos de muestreo

donde se tomó las muestras de suelo. La muestra de raíz se tomó realizando un cuadrante de 20 cm de largo, 20 cm de ancho y 20 cm de profundidad de donde se extrajo todas las raíces de café presentes. El proceso de extracción, conteo e identificación de los nematodos fitoparásitos se llevó a cabo en el laboratorio de Nematología de la UNA. Se utilizó la metodología de Araya (2002) modificada. Se lavó cada muestra con agua potable para eliminar todos los residuos de suelo. Las raíces de café fueron separadas en raíces finas y leñosas, se pesaron por aparte. Las raíces finas fueron procesadas. Se cortaron en trozos de 2 a 3 cm de longitud. Cada muestra fue homogenizada y cuarteada. Se tomaron 10 g de raíz por muestra (tomando pequeñas cantidades de raíz de diferentes partes de la muestra). Los 10 g de raíz se colocaron en un beaker de 250 ml y se les adicionó agua potable hasta los 150 ml. Se procedió a realizar el licuado. Las raíces de café se licuaron a baja velocidad por 10 segundos y a alta velocidad por 10 segundos más. La solución del licuado se tamizó en un juego de cribas superpuestas de 100 y 400 mallas. Las cribas se lavaron por un minuto. Posteriormente, la muestra recolectada fue procesada por el método de centrifugación-flotación en solución azucarada. En un microscopio invertido, a 40X, se identificó y contó los nematodos fitoparásitos (*Meloidogyne* y *Pratylenchus*) presentes en cada muestra, a nivel de género. Para la identificación se utilizó la clave de Siddiqi (2000).

Cuadro 12 Lista de variables descritas en las parcelas

Tipo de variable	Variable	Código	Unidad
Índices ecológicos de nematodos de suelo	Índice de enriquecimiento	EI	-
	Índice basal	BI	-
	Índice de estructura	SI	-
	Índice de canal	ChI	-
Manejo de la plantación	Sombra	S	%
	Peso seco de hojarasca	PSh	gr
	Relación C/N de hojarasca	C/N	-
	Número de plantas de banano	BA	-
	Número de árboles con menos de 6 metros de altura	Arp	-
	Número de árboles con más de 6 metros de altura	Arg	-
	Presencia de leguminosos ^a	LEG	-
	Número anual de aplicaciones de nematicidas	NEM	-
	Tipo de fertilizante ^a	TFER	-
Nematodos fitoparásitos en raíces	Tipo de prácticas al suelo ^a	TPRA	-
	Conteo de <i>Meloidogyne</i> en 10g de raíz	Mel	-
	Conteo de <i>Pratylenchus</i> en 10g de raíz	Praty	-

^aLa naturaleza de la variable es cualitativa

4.2.5.2 Análisis de datos

El análisis de datos se realizó igual al propuesto por Avelino *et al* (2006). En general, trató de dos etapas: (1) se categorizaron todas las variables. Las variables se categorizaron agrupando el total de parcelas en valores bajos, medios y altos, procurando que todas las categorías quedaran con similar número de parcelas. Luego se realizaron tablas de contingencia y pruebas de Chi-cuadrado entre las variables categorizadas y las categorías de índices ecológicos de nematodos de suelo. Se escogieron las variables con mayor dependencia ($p \leq 0.6$). Las variables con menor dependencia no se tomaron en consideración para el siguiente análisis. (2) se realizó análisis de correspondencias múltiples entre las variables categorizadas y las categorías de índices ecológicos de nematodos de suelo. Los análisis se realizaron con el programa InfoStat (Di Rienzo *et al.* 2011).

4.3 Resultados y Discusión

4.3.1 Densidad y diversidad de nematodos de suelo

La abundancia media de nematodos de suelo encontrada en este trabajo varió entre 245 a 325 nematodos / 100 g de suelo (cuadro 13). Estos valores son similares a los encontrados en otros trabajos en los que se han evaluado sistemas agrícolas. Salguero (2006) determinó en plantaciones comerciales de banano en Costa Rica, evaluadas al inicio de la época lluviosa, densidades poblacionales de 148 a 267 nematodos / 100 g de suelo. Mondino *et al.* (2012) encontraron densidades entre 160 a 300 individuos / 100 ml de suelo en plantaciones comerciales de caña de azúcar en Brasil. Pero, en otros estudios se han determinado densidades mayores. En café orgánico y convencional de San Ramón de Alajuela, evaluado en invierno, se determinó respectivamente medias de 987 y 480 nematodos / 100 g de suelo húmedo (Varela 2005). Estos resultados sugieren que es necesario realizar mayor número de evaluaciones en el tiempo, fuera de la época seca, para determinar la mayor abundancia de nematodos de suelo y llegar a conclusiones más precisas.

Las medias de densidad poblacional de nematodos de suelo fueron significativamente diferentes entre tratamientos ($p \leq 0.05$). El sistema con mayor abundancia fue orgánico con sombra, pero el sistema orgánico con banano presentó resultados similares a los sistemas convencionales. Otros autores han encontrado mayor abundancia total de nematodos en sistemas con manejo orgánico en comparación con convencionales (Varela 2005; Liang *et al.* 2009). Pero, nuestros resultados no son concluyentes, posiblemente, es necesario encontrar mayor densidad poblacional para ver diferencias claras entre tipos de sistemas.

Cuadro 13 Media de densidad poblacional de nematodos de suelo por tipo de sistema

Cantidad de nematodos	PS	SS	SB	OS	OB
100 g de suelo húmedo	245.6	245.2	265.5	325.9	258.0
	CD	D	B	A	BC

Letras diferentes en fila indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) según prueba LSD

En total se identificaron 4901 nematodos pertenecientes a 42 familias (cuadro 14).

Del total de nematodos identificados la mayor abundancia (59 % del total de nematodos identificados) eran fitoparásitos, seguidos por los bacteriófagos, fungívoros y finalmente los nematodos menos abundantes fueron omnívoros y depredadores. Estos resultados concuerdan con los de Freckman y Caswell (1985) citado por (Mondino *et al.* 2012), que indicaron la predominancia de fitófagos y bacteriófagos en la nematofauna de sistemas agrícolas. Igualess resultados han reportado varios autores (Cares y Huang 1991; Mondino *et al.* 2006; Kimenju *et al.* 2009; García 2012; Mondino *et al.* 2012) en sistemas tropicales y subtropicales. Igualmente otros autores (Ferris *et al.* 1996b) han observado que los omnívoros y depredadores suelen ser poco abundantes en sistemas agrícolas.

La familia encontrada en mayor abundancia fue Meloidogynidae; ésta estuvo representada en el 100% por el género *Meloidogyne*. La alta abundancia de fitoparásitos está relacionada a la presencia de hospederos de éstos y no tanto de las aplicaciones al suelo (Bulluck y Ristaino 2002). Berkelmans *et al.* (2003) y Ferris *et al.* (1996a) han indicado que la diversidad de especies de plantas que existe en los sistemas tiene una gran influencia sobre la población de nematodos. En este trabajo se ha comprobado la relación que tiene la presencia del hospedero sobre la abundancia de fitoparásitos; la presencia del cultivo de café que es hospedero de *Meloidogyne*, condujo a la mayor abundancia de este nematodo en todos los sistemas.

La mayor proporción de bacteriófagos se encontró en el sistema orgánico sin banano, pero todos los sistemas presentaron una importante abundancia de este grupo de nematodos. Berkelmans *et al.* (2003) y Liang *et al.* (2009) también encontraron mayor abundancia de bacteriófagos en sistemas con manejo orgánico. El predominio de nematodos oportunistas (bacteriófagos) refleja ambientes altamente disturbados y enriquecidos por nutrientes (Ferris *et al.* 2001).

La menor abundancia de fungívoros se determinó en los sistemas convencionales pleno sol y sombra con banano. Ferris *et al.* (1996b) encontraron resultados similares, mayor abundancia de fungívoros en tomate convencional en comparación con orgánico, posiblemente relacionado a la presencia de materiales menos lábiles en sistemas convencionales.

La menor cantidad de omnívoros se observó en el sistema pleno sol. Ettema y Bongers (1993) demostraron que la densidad de omnívoros es menor en los sistemas agrícolas en los que se hace un uso más intensivo del suelo.

Cuadro 14 Familias y número de especímenes identificados por tipo de sistema. Se incluye el grupo trófico

Familia	OB	OS	PS	SB	SS	Total
Bacteriófagos	161	546	206	132	316	1361
Alirhabditidae	1	0	0	0	2	3
Diplogasteridae	0	1	0	0	1	2
Neodiplogasteridae	5	10	4	1	1	21
Panagrolaimidae	14	31	2	3	16	66
Rhabditidae	69	252	49	88	76	534
Cephalobidae	64	229	144	36	207	680
Plectidae	0	2	0	1	0	3
Aulolaimidae	0	1	0	0	0	1
Desmodoridae	0	0	0	1	0	1
Diplopeltidae	0	0	0	0	1	1
Prismatolaimidae	2	2	3	0	3	10
Rhabdolaimidae	2	0	0	0	0	2
Teratocephalidae	0	2	1	0	1	4
Alaimidae	3	16	3	2	8	32
Cryptonchidae	1	0	0	0	0	1
Fungívoros	91	205	47	57	134	534
Anguinidae	1	0	0	0	7	8
Aphelenchidae	17	24	12	3	11	67
Aphelenchoididae	52	148	27	26	91	344
Leptonchidae	0	1	0	0	1	2

Familia	OB	OS	PS	SB	SS	Total
Tylencholaimidae	21	32	8	28	24	113
Fitoparásitos	582	843	552	328	563	2868
Psilenchidae	0	1	2	0	0	3
Tylenchidae	23	42	13	16	27	121
Criconematidae	24	73	0	0	1	98
Hemicycliophoridae	5	0	0	0	0	5
Heteroderidae	3	4	0	0	0	7
Hoplolaimidae	163	93	168	162	160	746
Meloidogynidae	342	561	351	133	331	1718
Paratylenchidae	0	1	0	0	4	5
Pratylenchidae	10	22	8	5	20	65
Trichodoridae	3	2	0	1	2	8
Belondiridae	2	15	2	6	6	31
Xiphinematidae	7	29	8	5	12	61
Omnívoros	21	36	10	23	23	113
DORYLAIMIDA	1	1	0	0	0	2
Dorylaimidae	2	6	3	6	2	19
Qudsianematidae	10	20	2	12	14	58
Aporcelaimidae	8	9	5	5	7	34
Depredadores	1	12	2	6	4	25
Tobrilidae	0	0	0	0	1	1
Anatonchidae	0	1	0	4	0	5
Mononchidae	0	2	1	1	0	4
Mylonchulidae	0	4	0	0	0	4
Seinuridae	0	0	0	1	0	1
Nygolaimidae	1	5	1	0	3	10
TOTAL	856	1642	817	546	1040	4901

4.3.1 Índices ecológicos de los nematodos

Los índices enriquecimiento (EI), estructura (SI) y basal (BI) presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$). El índice de canal (ChI) no presentó diferencias significativas pero si algunas diferencias entre sistemas (Cuadro 15).

El índice de enriquecimiento fue significativamente menor ($p < 0.01$) en los sistemas con manejo convencional pleno sol y convencional con sombra de árboles y sin banano. También Berkelmans *et al.* (2003) determinaron bajo EI en sistemas convencionales, relacionado con la menor cobertura en el suelo que tienen estos sistemas. Los resultados también concuerdan con las observaciones de Bulluck *et al.* (2002) quienes observaron menor EI en suelos aplicados con fertilizantes sintéticos en comparación con suelos aplicados con fertilizantes orgánicos. Sin embargo, hay un resultado que no concuerda con estas observaciones, es el valor alto de EI observado en sistema convencional con sombra de árboles y con banano. Este sistema solo recibió abonos sintéticos, pero, otros recursos presentes en el sistema podrían causar abundancia de bacteriófagos oportunistas y por lo tanto mayor EI, estos recursos posiblemente, son los aportados por los bananos asociados al cultivo.

El índice de estructura fue significativamente menor ($p < 0.01$) en pleno sol. Berkelmans *et al.* (2003) encontraron también menor SI en sistemas agrícolas convencionales. Este índice está relacionado con la abundancia de omnívoros y depredadores. Estos grupos son altamente sensitivos a la disturbación. En el sistema pleno sol podría estar ocurriendo mayor disturbación en el suelo que en los otros sistemas; se supone que principalmente se presenta mayor erosión.

Pleno sol y convencional con sombra de árboles y sin banano presentaron el índice basal significativamente mayor ($p < 0.01$). Berkelmans *et al.* (2003) también encontraron mayor índice basal en sistemas convencionales, explicado por la mayor abundancia de fungívoros y menor abundancia de bacteriófagos en estos sistemas. La mayor abundancia de fungívoros indica que en el sistema hay presencia de recursos menos lábiles. Altos valores del índice basal podrían indicar un ambiente estresado (Ferris *et al.* 2001).

El índice de canal fue mayor en pleno sol y sombra sin banano. Liang *et al.* (2009) también encontraron mayor ChI en sistemas convencionales en comparación con orgánicos. Índice de canal menor podría indicar que los recursos en el suelo son insuficientes y el canal de descomposición que predomina es por hongos (Dupont *et al.* 2009).

Cuadro 15 Índices ecológicos (medias) para los sistemas de cultivo

Sistema	EI		SI		BI		ChI	
PS	47.0	B	33.0	B	39.5	A	41.3	A
SS	53.4	B	48.8	A	30.3	AB	40.7	A
SB	77.0	A	65.7	A	13.9	C	15.3	B
OS	71.0	A	47.3	A	22.0	BC	22.4	AB
OB	73.3	A	54.5	A	18.5	C	21.3	AB
Valor F	4.9		4.51		5.86		2.32	
Valor-p	0.01		0.01		0.01		0.07	

Valores en la misma columna con la misma letra no tienen diferencia significativa según prueba LSD, probado a $p < 0.05$.

4.3.2 Relación entre índices ecológicos de nematodos de suelo, nematodos fitoparásitos en raíces de café y manejo del cultivo

El índice de enriquecimiento se relacionó con el peso seco de la hojarasca, cantidad de plantas de banano asociadas al café, tipo de prácticas al suelo y tipo de fertilizante (cuadro 16). No se determinó relación con estas variables: *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, porcentaje de sombra, relación C/N de la hojarasca, número de árboles pequeños o grandes asociados al café, presencia de árboles leguminosos y número de aplicaciones anuales de nematicidas. Los valores mayores de EI (76.5 - 97.5) se relacionaron con menor peso de la hojarasca (174.0 - 495.6), mayor número de plantas de banano asociadas al cultivo de café (5 – 8 plantas), realizar gavetas y prácticas de conservación de suelo y con la aplicación de abonos orgánicos (figura 5).

Se esperaba encontrar valores altos de EI asociados a mayor peso de la hojarasca, debido a que los valores bajos de EI se han relacionado con menor cobertura del suelo (Abreu *et al.* 2006), pero la relación encontrada fue inversa a la esperada; probablemente aunque hay mayor peso de hojarasca la composición de ésta o características propias del suelo no favorecen la abundancia de bacteriófagos de enriquecimiento y por esto el EI sea bajo.

Por otra parte, la relación de mayor EI con mayor número de plantas de banano indica que posiblemente estas plantas aportan recursos lábiles al suelo que son procesados por bacteriófagos.

La relación entre valores altos de EI y la aplicación de abonos orgánicos ha sido documentada por varios autores (Berkelmans *et al.* 2003; Leroy *et al.* 2009; Liang *et al.* 2009), coincidiendo con lo encontrado en nuestro trabajo. Esta relación se explica porque los materiales orgánicos estimulan la abundancia de bacteriófagos de enriquecimiento, que es el grupo de nematodos

que determina el EI. Valores de EI altos podrían indicar que hay un mejor ciclaje de nutrientes (Dupont *et al.* 2009) en los sistemas aplicados con abonos orgánicos.

El índice de estructura se encontró significativamente asociado ($p \leq 0.06$) con el porcentaje de sombra y la cantidad de plantas de banano asociadas al café. No se relacionó con estas variables: *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, peso seco de la hojarasca, relación C/N de la hojarasca, número de árboles pequeños o grandes asociados al café, presencia de árboles leguminosos y número de aplicaciones anuales de nematicidas, tipo de prácticas al suelo y tipo de fertilizante. Los valores más altos de índice de estructura (43.5 - 72.4) se relacionaron con mayor porcentaje de sombra (68.8 - 87.9) y mayor número de plantas de banano asociado al cultivo de café (3 – 8 plantas).

El índice de estructura está determinado en gran parte por la presencia de depredadores, por esta razón, esperábamos encontrar alguna relación entre este índice y la densidad de nematodos fitoparásitos en suelo, pero no se encontró asociación entre éstos. Anteriormente, Ferris *et al.* (1996b) ha indicado que el SI no está relacionado con la capacidad de supresión en todos los sistemas agrícolas. Pueden existir otros organismos relacionados al control de nematodos fitoparásitos (Timper *et al.* 2012), lo que puede explicar lo observado. Observamos mayores valores de SI relacionados con factores que pueden implicar mayor entrada de C como es la mayor cantidad de plantas de banano y mayor porcentaje de sombra (aporte de materia orgánica de los árboles de sombra). Valores de SI altos se han relacionado con menos mecanización del suelo (Berkelmans *et al.* 2003), pero no se ha relacionado con la provisión de carbono que haya en el sistema (Ferris *et al.* 2004), nuestros resultados no coinciden con estos autores.

El índice basal se relacionó con el porcentaje de sombra y el peso seco de la hojarasca. Los valores más altos de BI (40.8 - 70.6) se relacionaron con la ausencia de sombra en el cultivo y con mayor peso seco de la hojarasca (495.6 - 2112.0). En los sistemas sin sombra el peso seco de la hojarasca corresponde a la caída de hojas de las plantas de café. Estos resultados indican que en los sistemas sin sombra (pleno sol) aunque haya más hojarasca, esta es posiblemente poco lábil, favoreciendo la presencia de fungívoros y por lo tanto de BI alto. Valores de BI alto podrían indicar que hay pocos recursos en el sistema (Dupont *et al.* 2009).

El índice de canal se encontró asociado solamente al porcentaje de sombra. Mayor ChI (31.7 – 100) se relacionó a la ausencia de sombra en el sistema. En otros trabajos (Berkelmans *et al.* 2003; Dupont *et al.* 2009; Leroy *et al.* 2009; Liang *et al.* 2009) se ha encontrado relación entre ChI y el tipo de fertilización, generalmente valores bajos de CI se encuentran al aplicar enmiendas orgánicas, porque la aplicación de éstas hace que predomine el canal de descomposición por bacterias. La relación encontrada en este trabajo entre ChI y sombra podría indicar que en los sistemas de pleno sol predominan las vías de descomposición por hongos, posiblemente por la poca cantidad de recursos de fácil descomposición que existe en éstos.

Cuadro 16 Categorías de nematodos fitoparásitos en raíces de café y variables de manejo de cultivo. Se incluye prueba X^2 de independencia realizada con las categorías de índices ecológicos de nematodos de suelo^a

Variables	Unidad	Categorías				Prueba X^2				
		1	2	3	4	Total	EI	SI	BI	ChI
Mel	-	[0 - 496]	[496 - 1872]	[1872 - 14260]		6.9	2.1	4.5	4.3	8.7
Praty	-	[0 - 30]	[30 - 120]	[120 - 1032]		8.6	7.0	0.7	5.1	7.0
S	%	[0]	[25.9 - 59.7]	[59.7 - 68.8]	[68.8 - 87.9]	4.2	10.8	22.2*	14.3*	12.8*
PSh	Gr	[174.0 - 495.6]	[495.6 - 767.7]	[767.7 - 2112.0]		5.7	9.3*	6.9	10.8*	3.8
C/N	-	[13.8 - 16.8]	[16.8 - 18.1]	[18.13 - 29.4]		8.4	6.8	6.7	8.1	5.5
BA	-	[0]	[3 - 4]	[5 - 8]		7.6	9.7*	10.6*	7.9	6.9
Arp	-	[0]	[1 - 2]	[3 - 5]		4.8	3.1	1.3	1.9	5.0
Arg	-	[0]	[1 - 3]	[4 - 7]	[8 - 11]	10.7	5.9	10.5	9.9	8.8
LEG	-	[Si]	[No]			2.8	2.8	4.0	4.5	5.0
NEM	-	[0]	[1]			5.3	4.6	0.7	1.1	2.3
TPRA		[Ning.]	[Gavetas]	[Conser.]	[Curvas]	7.3	11.4*	7.3	4.4	4.8
TFER	-	[Org]	[Quim]	[Org+Quim]		7.3	11.5*	7.0	7.5	7.4

a. Categorías de nematodos de suelo= Total (densidad total/ 100 g de suelo): 1 [92 - 208], 2 [208- 284], 3 [284 - 343], 4 [343 - 1061]; EI: 1 [15.8 - 56.7], 2 [56.7 - 76.5], 3 [76.5 - 97.5]; SI 1 [0 - 43.5], 2 [43.5 - 72.4], 3 [72.4 - 90]; BI 1 [2.4 - 21.3], 2 [21.3 - 40.8], 3 [40.8 - 70.6]; ChI 1 [0 - 15.2], 2 [15.2 - 31.7], 3 [31.7 - 100]

b. * $p \leq 0.06$

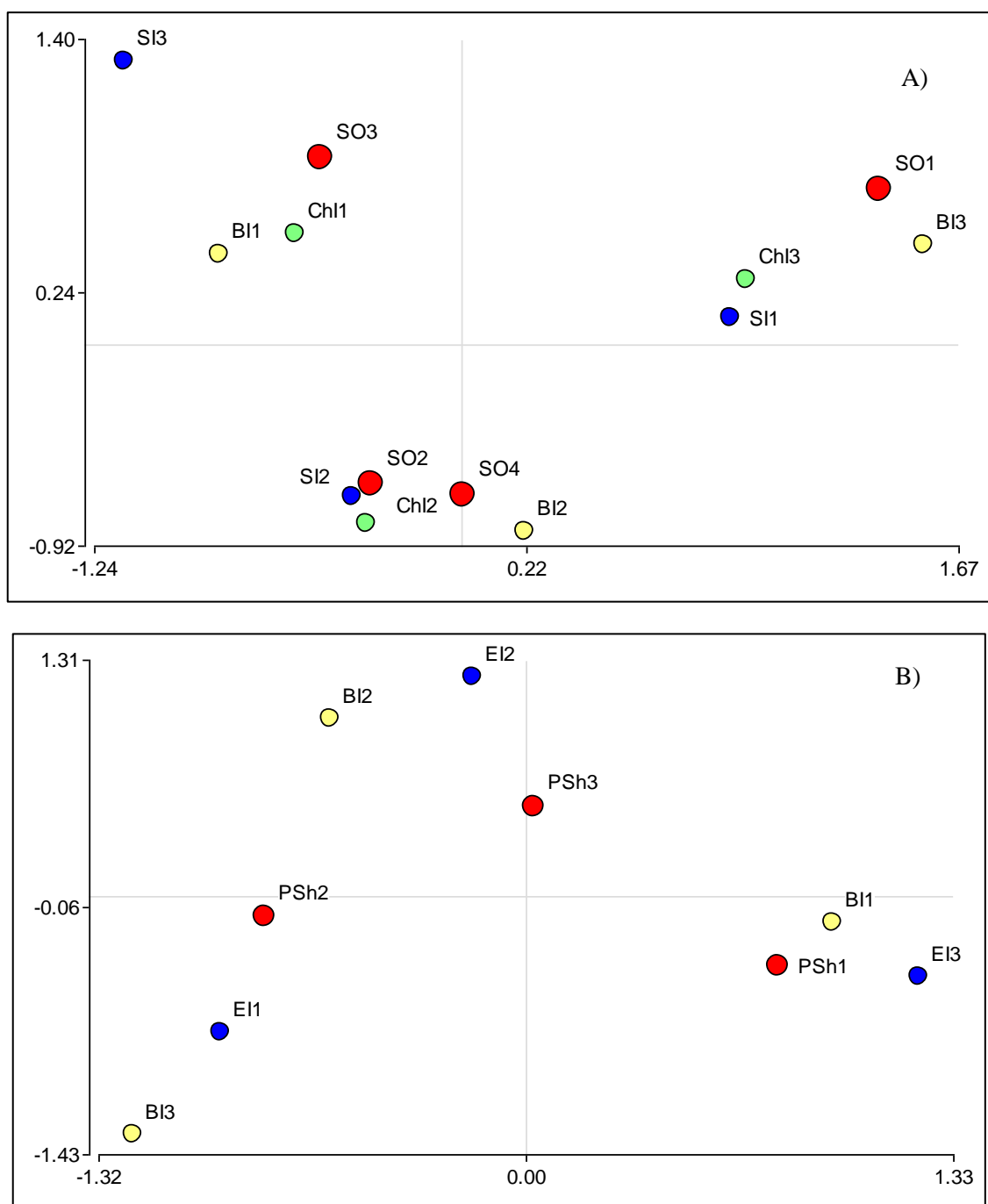
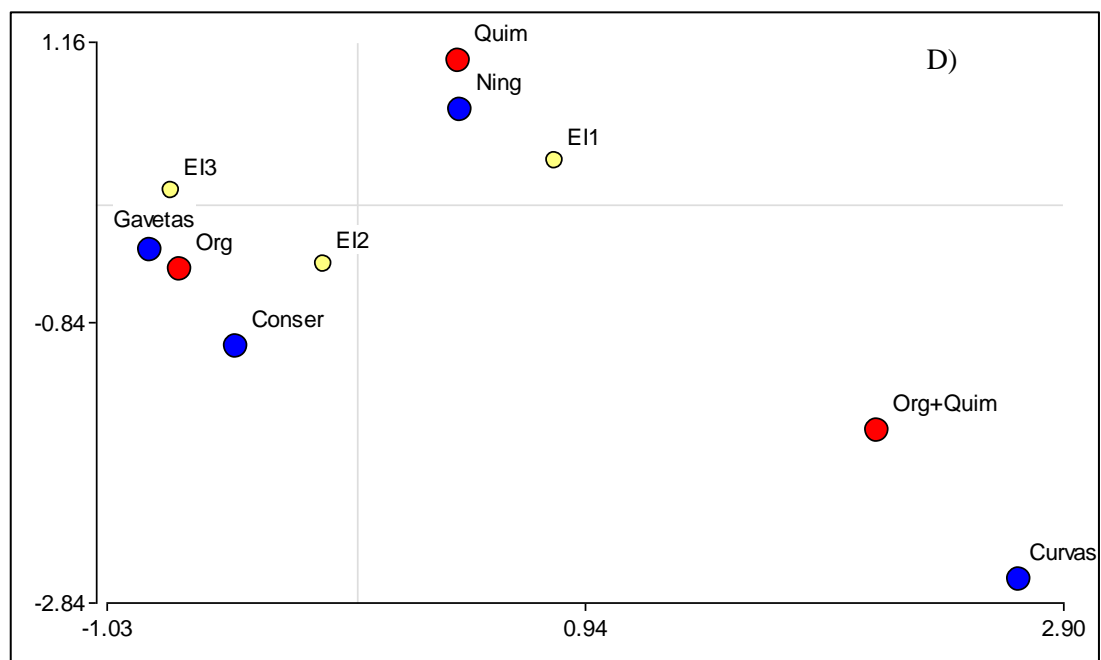
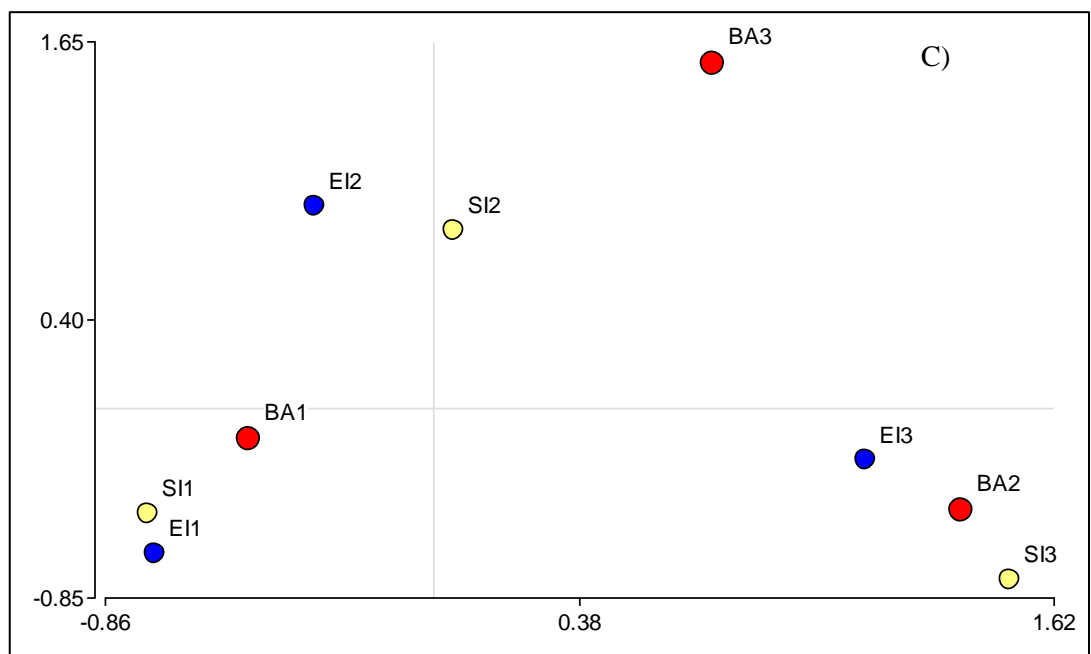


Figura 5 Representación gráfica de los primeros dos ejes del análisis de correspondencia realizado de tablas de contingencia donde variables de manejo del cultivo y nematodos fitoparásitos de en raíces de café están en filas y las categorías de nematodos de suelo están en columnas. Solo las categorías de variables más relacionadas son representadas. A): Relación entre porcentaje de sombra (SO), índice de canal (ChI), índice de estructura (SI) e índice basal (BI); B): Relación entre peso de la hojarasca (Psh), BI e índice de enriquecimiento (EI); C): Relación entre número de plantas de banano (BA), EI y SI; D): Relación entre tipo de abono, practicas al suelo y EI. Observar cuadro 12 para la explicación de los códigos y cuadro 16 para explicación de las categorías



Continuación de figura 5

4.4 Conclusiones y recomendaciones

La densidad total de nematodos de suelo no se diferenció claramente entre sistemas de cultivo. Posiblemente, es necesario realizar mayor número de muestreos en el tiempo para lograr conclusiones más precisas.

La diversidad de nematodos si difirió entre sistemas de cultivo. Los bacteriófagos fueron más abundantes en sistemas orgánicos, posiblemente porque en este tipo de sistemas hay mayor cantidad de recursos que son descompuestos por bacterias. Los omnívoros fueron menos abundantes en el sistema pleno sol. Estos nematodos son sensibles a la disturbación del suelo.

Los índices ecológicos de nematodos se asociaron, principalmente, al manejo de las especies asociadas al cultivo de café. El mayor porcentaje de sombra (68.8 - 87.9) se asoció a mayor índice de enriquecimiento (76.5 - 97.5) y mayor índice de estructura (72.4 - 90). Ausencia de sombra (PS) se relacionó con mayor índice basal (40.8 - 70.6) y mayor índice de canal (31.7 - 100). La presencia de mayor número de plantas de banano asociado al café (5 - 8 plantas/ parcela) se asoció a mayor índice de enriquecimiento y de estructura. El mayor porcentaje de sombra y la mayor cantidad de plantas de banano, probablemente, estén relacionados a mayor entrada de recursos en los sistemas, lo que se observa positivo para la mayor diversidad de nematodos en el suelo.

El tipo de fertilización se relacionó con el índice de enriquecimiento. La aplicación de abonos orgánicos se relacionó con mayor índice de enriquecimiento (76.5 - 97.5). Los abonos orgánicos posiblemente sean descompuestos por bacterias, de ahí que el EI sea mayor.

Los resultados sugieren que la mayor provisión de sombra en el cultivo de café, la presencia de plantas asociadas (banano) y la aplicación de abonos orgánicos pueden conducir a mejor ciclaje de nutrientes en el sistema.

Como nueva línea de investigación se recomienda observar la dinámica poblacional a través del tiempo de nematodos fitoparásitos y de suelo, para determinar si existe o no relación entre los nematodos de suelo y los nematodos fitoparásitos (si existe capacidad de supresión).

Literatura citada

- Abreu, DJ; Huang, S; Mcmanus, C. 2006. Grupos tróficos da comunidade de nematóides do solo em oito sistemas de uso da terra nos Cerrados do Brasil Central. *Nematologia Brasileira* 30(3):267-273.
- Araya, M. 2002. Metodología utilizada en el laboratorio de nematología de CORBANA S.A. para la extracción de nematodos de las raíces de banano (*Musa AAA*) y platano (*MusaAAB*). *CORBANA* 28(55):97-110.
- Avelino, J; Zelaya, H; Merlo, A; Pineda, A; Ordoñez, M; Savary, S. 2006. The intensity of a coffee rust epidemic is dependent on production situations. *Ecological Modelling* 197:431-447.
- Benavides, I. 2005. Caracterización de la nematofauna en un sistema natural y cuatro sistemas agrícolas con diferente manejo agronómico, en San Ramón Alajuela, Costa Rica. Magister. Heredia, Costa Rica, UNA.
- Berkelmans, R; Ferris, H; Tenuta, M; Van Bruggen, A. 2003. Effects of long-term crop management on nematode trophic levels other than plant feeders disappear after 1 year of disruptive soil management. *Applied Soil Ecology* 23(3):223-235.
- Bongers, T; Ferris, H. 1999. Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring. *Trends in Ecology & Evolution* 14(6):224-228.
- Bulluck, L; Ristaino, J. 2002. Effect of synthetic and organic soil fertility amendments on southern blight, soil microbial communities, and yield of processing tomatoes. *Phytopathology* 92(2):181-189.
- Cares, J; Huang, S. 1991. Nematode fauna in natural and cultivated cerrados of Central Brazil. *Fitopatologia Brasileira* 16:199-199.
- Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Balzarini, MG; Gonzalez, L; Tablada, M; Robledo, CW. 2011. InfoStat. Disponible en <http://www.infostat.com.ar/>
- DuPont, T; Ferris, H; Van Horn, M. 2009. Effects of cover crop quality and quantity on nematode-based soil food webs and nutrient cycling. *Applied Soil Ecology* 41(2):157-167.
- Ettema, C; Bongers, T. 1993. Characterization of nematode colonization and succession in disturbed soil using the Maturity Index. *Biology and Fertility of Soils* 16(2):79-85.
- Ferris, H; Eyre, M; Venette, R; Lau, S. 1996a. Population energetics of bacterial-feeding nematodes: stage-specific development and fecundity rates. *Soil Biology and Biochemistry* 28(3):271-280.
- Ferris, H; Venette, RC; Lau, SS. 1996b. Dynamics of nematode communities in tomatoes grown in conventional and organic farming systems, and their impact on soil. *Applied Soil Ecology* 3:161-175.
- Ferris, H; Bongers, T; Goede de, R. 2001. A framework for soil food web diagnostics: extensions of the nematode faunal analysis concept. *Applied Soil Ecology* 18:13 - 29.
- Ferris, H; Matute, MM. 2003. Structural and functional succession in the nematode fauna of a soil food web. *Applied Soil Ecology* 23(2):93-110.
- Ferris, H; Venette, R; Scow, K. 2004. Soil management to enhance bacterivore and fungivore nematode populations and their nitrogen mineralisation function. *Applied Soil Ecology* 25(1):19-35.
- García, J. 2012. Densidad y diversidad de nematodos en sistemas agroforestales de café en asocio con bananos y sombra de leguminosas en Jinotega, Nicaragua. Magister. Turrialba, CR, CATIE.

- Hunt, D. 1993. Aphelenchida, Longidoridae and Trichodoridae: their systematics and Bionomics. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal p. 352 pp.
- ICAFE. 2013. Sitio oficial ICAFE. Consultado 13/10/2013
- Jairajpuri, M; Ahmad, W. 1992. Dorylaimida. Free-living, Predacious and Plant-parasitic nematodes. p. 458 pp.
- Kimenju, J; Karanja, N; Mutua, G; Rimberia, B; Nyongesa, M. 2009. Impact of land use changes on nematode diversity and abundance.
- Lemmon, P. 1956. A spherical densiometer for estimating forest overstory density. *Forest Science* 2(1):314-320.
- Leroy, B; De Sutter, N; Ferris, H; Moens, M; Reheul, D. 2009. Short-term nematode population dynamics as influenced by the quality of exogenous organic matter. *Nematology* 11(1):23-38.
- Li, Q; Jiang, Y; Liang, W; Lou, Y; Zhang, E; Liang, C. 2010. Long-term effect of fertility management on the soil nematode community in vegetable production under greenhouse conditions. *Applied Soil Ecology* 46(1):111-118.
- Liang, W; Lou, Y; Li, Q; Zhong, S; Zhang, X; Wang, J. 2009. Nematode faunal response to long-term application of nitrogen fertilizer and organic manure in Northeast China. *Soil Biology and Biochemistry* 41(5):883-890.
- Mondino, E; Tavares, O; Lima, E; Berbara, R. 2012. Comunidades de nematodos en caña de azúcar bajo diferentes sistemas de labranza y cosecha. *Nematopica* 40(2):203-217.
- Mondino, EA; Chaves, EJ; Clausen, AM. 2006. Distribution of nematodes in potato fields soil in Andean valleys of Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía (Universidad de Buenos Aires)* 26(2):141-148.
- Oostenbrink, M. 1960. Estimating nematode populations by some selected methods. *Nematology*:85-102.
- Procter, DLC. 1990. Global overview of the functional roles of soil-living nematodes in terrestrial communities and ecosystems. *Journal of Nematology* 22(1):1.
- Salguero, B. 2006. Caracterización de nemátodos de vida libre como bioindicadores de calidad y salud de suelos bananeros en Costa Rica. Characterization of free living nematodes as bioindicators of banana soils health and quality in Costa Rica. Magister. Turrialba, Costa Rica, CATIE.
- Sánchez-Moreno, S; Ferris, H. 2007. Suppressive service of the soil food web: Effects of environmental management. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 119(1-2):75-87.
- Siddiqi, M. 2000. Morphological characters and taxonomic methods. In Siddiqi, M. ed. 2000. *Tylenchida: parasites of plants and insects*. 37-85 p.
- Timper, P; Davis, R; Jagdale, G; Herbert, J. 2012. Resiliency of a nematode community and suppressive service to tillage and nematicide application. *Applied Soil Ecology* 59:48-59.
- Varela, I. 2005. Caracterización de la nematofauna en un sistema natural y cuatro sistemas agrícolas con diferente manejo agronómico, en San Ramón de Alajuela, Costa Rica. Magister. Heredia, CR, Universidad Nacional de Costa Rica. 67 p.
- Villain, L; Anzueto, F; Hernández, A; Sarah, J. 1999. Los Nematodos Parásitos del Cafeto. In Bertrand, B; Rapidel, B. eds. 1999. *Desafíos de la caficultura en Centroamérica*. San José, Costa Rica, Agroamerica.
- Yeates, G; Borges, T; Goede de, R; Freckman, D; Georgieva, S. 1993. Feeding Habits in Soil Nematode Families and Genera--An Outline for Soil Ecologists. *Journal of Nematology* 25(3):315-331.

5. IMPLICACIONES PARA EL DESARROLLO

5.1 Introducción

Esta sección ha sido preparada con el propósito de explicar cuáles son las implicaciones de los resultados obtenidos en la presente tesis en las distintas dimensiones (humano, cultural, social, político, natural, financiero-productivo y físico-construido) del desarrollo sostenible.

Para realizar este análisis se utilizó el enfoque de medios de vida sostenibles (EMVS). El uso del método y todos los conceptos aplicados se basan en el documento de Imbach *et al.* (2009)

El análisis presentado se basa en una reflexión personal de la autora en base a lo observado durante la realización práctica de esta tesis. El contexto del análisis corresponde a los sistemas agrícolas en los que se realizó la tesis.

5.2 Generalidades del enfoque de medios de vida sostenibles

El enfoque de medios de vida plantea que la forma de vida de las personas es el resultado de una serie de factores (humanos, sociales, políticos, económicos, infraestructura y naturales. El término medios de vida se refiere a los activos y recursos (materiales y sociales) y a las actividades realizadas por las personas para satisfacer su forma de vida (Chambers y Conway 1992). Se considera a un medio de vida sostenible cuando puede sobrellevar y recobrase del estrés y de los cambios y aun así mantener y mejorar sus capacidades y recursos, tanto en el presente como en el futuro, sin desmejorar la base de los recursos naturales. El enfoque considera: la equidad de género, la realidad multidimensional, el dinamismo, el empoderamiento de las personas, la influencia de múltiples actores y la sostenibilidad.

5.3 Reflexión sobre las implicaciones para el desarrollo del trabajo realizado

Los principales hallazgos de nuestro trabajo fueron que un mayor porcentaje de sombra, aplicación de abonos orgánicos y una mayor cantidad de plantas de banano en el cafetal están asociados con la fauna de nematodos más beneficiosa, lo que podría conducir a un mejor ciclaje de nutrientes en el suelo. Además, más sombra en el cafetal también se relaciona con una menor abundancia del principal nematodo fitoparásito del café. Estos resultados apoyan el uso de prácticas de agricultura sostenible.

Los resultados podrían ser de utilidad para diversos actores como lo son: organizaciones gubernamentales o no gubernamentales relacionadas con el cultivo de café y con la agricultura sostenible, agricultores, comercializadores de café o subproductos, personas relacionadas con el turismo ecológico, productores de insumos agrícolas sostenibles, personas de las comunidades.

Estos actores podrían beneficiarse por diferentes vías. Las organizaciones relacionadas con el tema pueden utilizar la información generada para ampliar sus conocimientos y con estos realizar planes de acción, investigación y/o extensión. Los agricultores podrían utilizar las prácticas recomendadas para tener poblaciones de nematodos adecuadas para su cultivo y así

conseguir una mejor producción y sostenibilidad. Los comercializadores de café tienen la posibilidad de ofrecer un producto más sostenible de aquellos cultivos que vayan incorporando los conocimientos y así obtener más ganancias. Las personas relacionadas con el turismo ecológico tendrían la oportunidad de ofrecer a sus clientes la alternativa de visitar fincas que realicen prácticas ecológicas como las recomendadas, la belleza escénica en estas fincas es superior a la de fincas al pleno sol. Los productores de insumos agrícolas podrían recibir una mayor demanda de abonos orgánicos. Y los habitantes de las comunidades aledañas a fincas con prácticas agroecológicas van a conservar y mejorar recursos como el agua, el suelo, la biodiversidad y el aire limpio.

Literatura citada

- Chambers, R; Conway, G. 1992. Sustainable rural livelihoods: practical concepts for the 21st century. Institute of Development Studies (UK).
- Imbach, A; Imbach, P; Gutiérrez, I. 2009. Medios de vida sostenibles. Bases conceptuales y utilización. Geolatina, Costa Rica.

6. ANEXOS

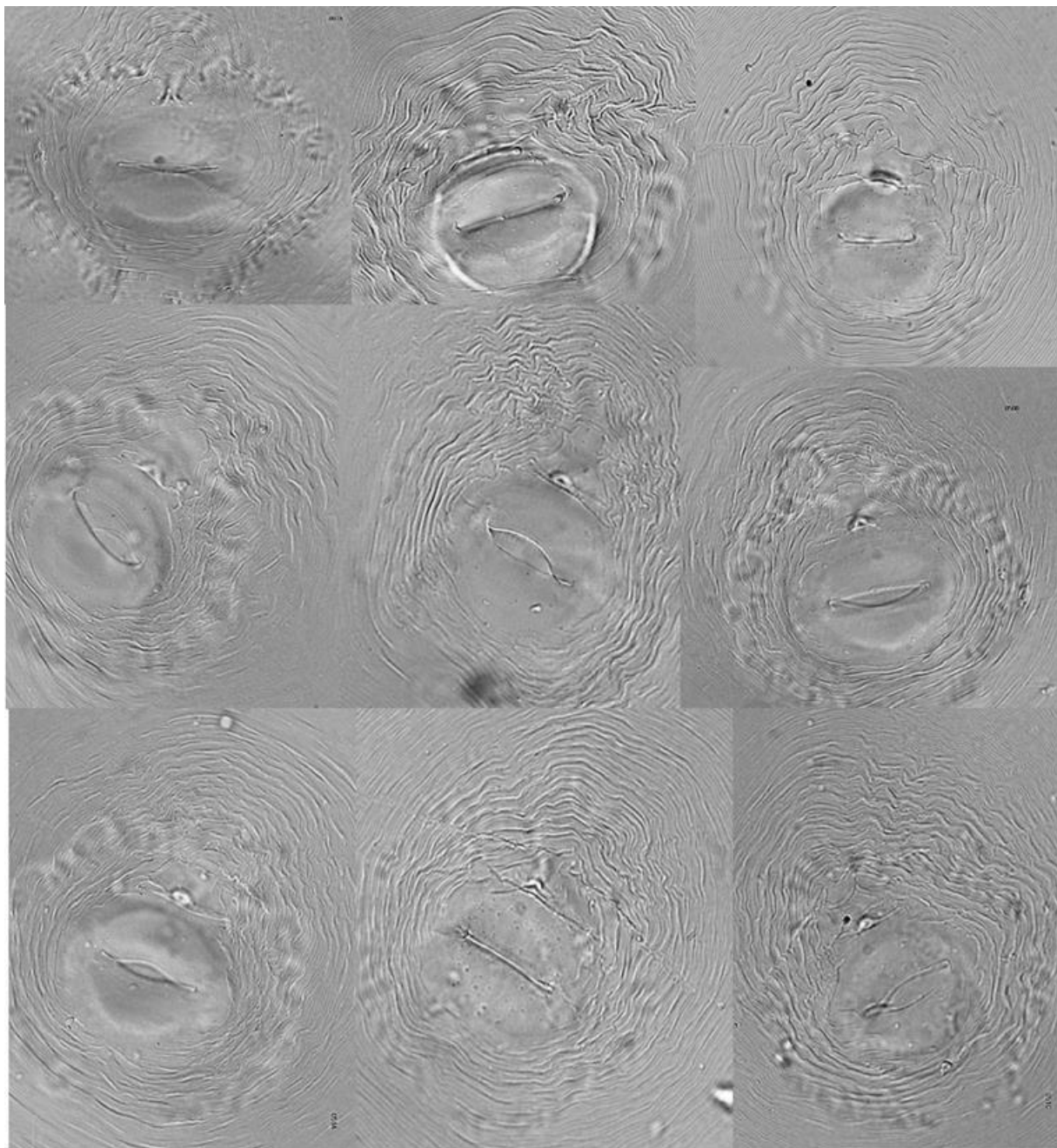


Figura 6 Diseños perineales de *Meloidogyne* spp. en el cultivo de banano

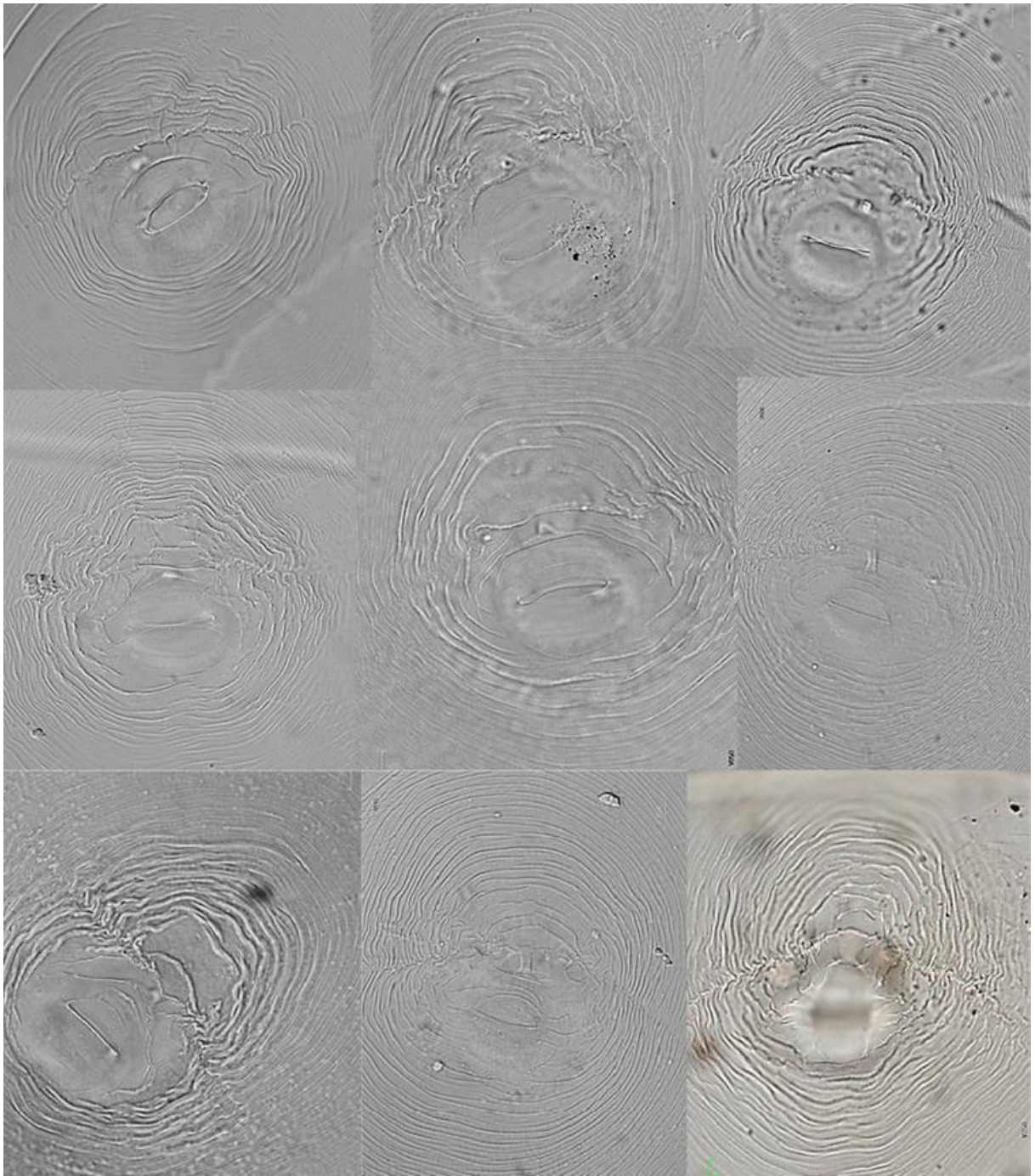


Figura 7 Diseños perineales de *Meloidogyne* spp. en el cultivo de café

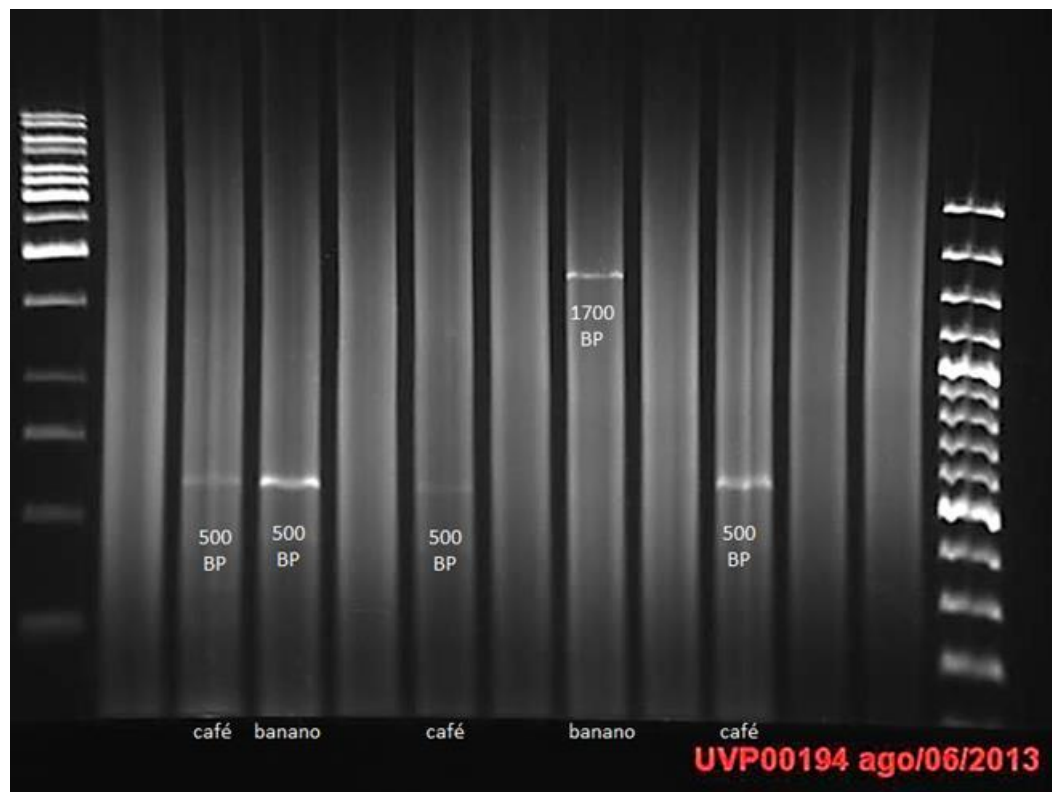


Figura 8 PCR de individuos de *Meloidogyne* spp. extraídos de raíces de café y banano, gel al 1%, 90V